

530068

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 12 月 29 日 (29.12.2004)

PCT

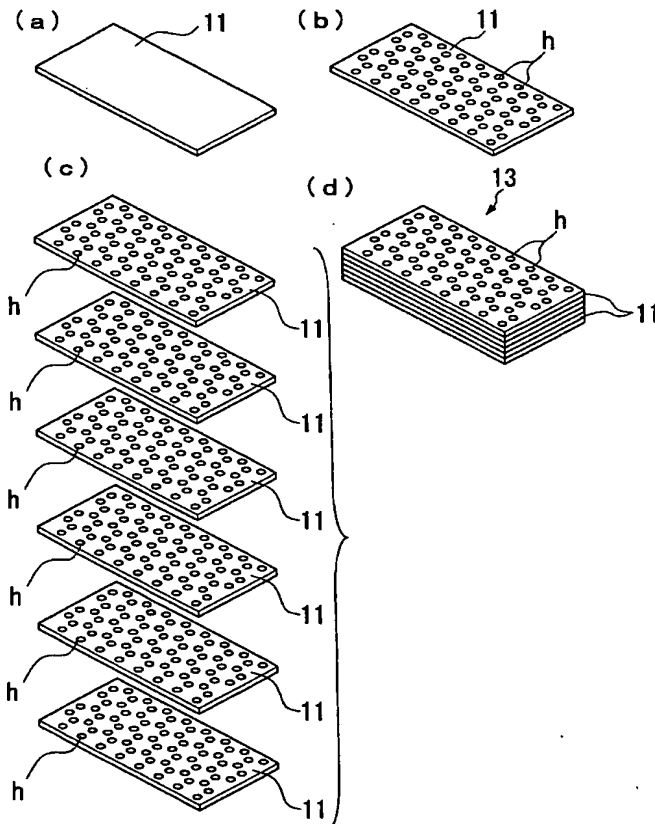
(10) 国際公開番号  
WO 2004/113965 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G02B 1/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008693
- (22) 国際出願日: 2004 年 6 月 15 日 (15.06.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-175147 2003 年 6 月 19 日 (19.06.2003) JP  
特願2003-204950 2003 年 7 月 31 日 (31.07.2003) JP  
特願2003-288110 2003 年 8 月 6 日 (06.08.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): TDK 株式会社 (TDK CORPORATION) [JP/JP]; 〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 榎戸 靖 (ENOKIDO, Yasushi) [JP/JP]; 〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 TDK 株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大場 充 (OBA, Mitsuru); 〒1010032 東京都千代田区岩本町 1 丁目 4 番 3 号 KMビル 8 階 大場国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

[続葉有]

(54) Title: PROCESS FOR PRODUCING PHOTONIC CRYSTAL AND PHOTONIC CRYSTAL

(54) 発明の名称: フォトニック結晶の製造方法およびフォトニック結晶



(57) **Abstract:** A green sheet (11) including a first dielectric is provided with of holes h a specified pattern penetrating the green sheet in the thickness direction. The green sheet (11) provided with of holes h the specified pattern are then laminated to obtain a dielectric block (13) arranged with air gaps a specified pattern periodically. A second dielectric is arranged in the air gap of the dielectric block (13). A photonic crystal periodically arranged with the first dielectrics and the second dielectrics having a dielectric constant different from that of the first dielectric can thereby be obtained without requiring particularly complicated processes. When dielectric ceramics is employed as the first and second dielectrics, a small photonic crystal having high characteristics can be obtained. Alternatively, dielectric ceramics and air may be employed, respectively, as the first and second dielectrics.

(57) 要約: 第 1 の誘電体を含むグリーンシート 11 に、厚さ方向に貫通する所定パターン of 孔 h を形成する。続いて、所定パターンの孔 h が形成されたグリーンシート 11 を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロック 13 を得る。そして、誘電体ブロック 13 の空隙内に、第 2 の誘電体を配置するようにした。これにより、特に複雑な工程を要することなく、第 1 の誘電体と、第 1 の誘電体と異なる比誘電率を有する第 2 の誘電体とを周期的に配置したフォトニック結晶を得ることが可能となる。第 1 の誘電体および第 2 の誘電体を、いずれも誘電体セラミックスとすることで、小型かつ高特性のフォトニック結晶を得ることができる。また第 1 の誘電体を誘電体セラ

ミックスとし、第 2 の誘電体を空気としてもよい。

WO 2004/113965 A1

WO 2004/113965 A1



NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## フォトニック結晶の製造方法およびフォトニック結晶

## 5 技術分野

本発明は、フォトニック結晶の製造方法およびフォトニック結晶に関する。

## 背景技術

近年、誘電率を周期的に変化させたフォトニック結晶が注目を浴びている。

- 10 フォトニックバンドギャップ（以下、単に「バンドギャップ」という）を発現するフォトニック結晶は、光および電磁波を制御する素子として使用可能である。例えば、フォトニック結晶中に欠陥を設け、光導波路を形成することで、フォトニック結晶を伝送線路として使用することが可能である（例えば、特開 2001-237616 号公報、特開 2001-237617 号公報参照）。

- 15 フォトニック結晶は、誘電率の周期構造が 2 次元である（以下、「2 次元周期構造」という）フォトニック結晶と、誘電率の周期構造が 3 次元である（以下、「3 次元周期構造」という）フォトニック結晶とに大別される。

- 初めて作製されたフォトニック結晶は、第 21 図に示す、3 次元周期構造の「ヤプロノバイト (Yablonovite)」である (e. Yablonovitch, T. J. Gmitter and  
20 K. M. Leung: Phys. Rev. Lett. 67, 2295 (1991) 参照)。第 21 図に示すように、ヤプロノバイトは、誘電体ブロック 81 に所定間隔で三角配置された開口部 82 の各々から、その法線に対し 35.26° の角度で 3 方向から 120° の間隔で穿孔されることで作製される。なお、第 21 図において、符号 82a ~ 82c は、穿孔方向を示している。

- 25 ヤプロノバイト以降、2 次元周期構造および 3 次元周期構造を問わず、数多くのフォトニック結晶が提案されている。それらのフォトニック結晶はマイクロマシン技術、ウエハー融着、半導体微細加工技術、自己クローニング技術、2 光子吸収を用いたポリマーの重合反応、光造形法およびドライエング法等

(以下、「マイクロマシン技術等」と総称する)を用いて作製されている。

マイクロマシン技術等を用いた方法の他には、エピタキシャル結晶成長方法を用いてフォトニック結晶を作製する方法(特開2001-237616号公報参照)やマウンター機器を使用した方法(特開2001-237617号公報参照)が提案されている。

- 5    フォトニック結晶は、誘電率の異なる2種類以上の物質を用いて作製される。一般に、そのうちの1種類として空気を利用することが多いが、近年、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂、誘電体セラミックス等を組み合わせてフォトニック結晶を作製することも提案されている(例えば、特開2001-237616号公報、特開2001-237617号公報参照)。

- 15    フォトニック結晶の用途および需要が急速に拡大しているのにも拘わらず、マイクロマシン技術等は、いずれもその工法が複雑なために歩留まりが悪く、時間がかかるため量産に向かない。また、上述のように、エピタキシャル結晶成長方法を用いてフォトニック結晶を作製する方法(特開2001-237616号公報参照)も提案されているが、エピタキシャル結晶成長が可能な誘電体の種類は自ずと限定されるとともに、所定の厚さまで誘電体をエピタキシャル結晶成長させるには膨大な時間を要する。さらに、マウンター機器を使用した方法(特開2001-237617号公報参照)も提案されているが、より簡易かつ短時間でフォトニック結晶を得る技術が求められている。

20    また、誘電体ブロックを予め作製した後に、誘電体ブロックに所定パターンの孔を穿孔するという方法も考えられる。しかし、孔のピッチが微小なため、穿孔自体が困難である。

- 25    そこで、本発明は、量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法等を提供することを課題とする。また、小型かつ高特性のフォトニック結晶を簡便に得るための技術、微細なパターンを備えたフォトニック結晶を得る技術を提供することを課題とする。

## 発明の開示

かかる目的のもと、本発明者は様々な検討を行った。その結果、第1の誘電体と当該第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とが同一面内に周期的に配置された複数の複合誘電体を積層することが有効であることを知見した。すなわち本発明は、第1の誘電体と当該第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とが周期的に配置されたフォトニック結晶の製造方法であって、第1の誘電体と第2の誘電体とが同一面内に周期的に配置された第1の複合誘電体を作製し、第1の複合誘電体に、第1の誘電体と第2の誘電体とが同一面内に周期的に配置された第2の複合誘電体を積層することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法である。

本発明のフォトニック結晶の製造方法は、第1の誘電体、第2の誘電体を構成する物質により第1の形態および第2の形態と、2つの形態を包含する。第1の形態は、第1の誘電体が誘電体セラミックスから構成され、第2の誘電体が空気から構成される。第2の形態は、第1の誘電体および第2の誘電体がいずれも誘電体セラミックスから構成される。

第1の形態においては、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成された第1の複合誘電体および第2の複合誘電体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得ることができる。

誘電体セラミックスは、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも、比誘電率が大きいため、誘電体として誘電体セラミックスを使用することで、フォトニック結晶の小型化を図ることができる。また、誘電体セラミックスと空気を組み合わせることで、両誘電体の比誘電率の比率を大きくすることができるため、広帯域なバンドギャップが得られる。

本発明のフォトニック結晶の製造方法において、第1および第2の複合誘電体は、シート状部材を穿孔して得られるものとすることができる。なお、シート状部材1枚毎に穿孔してもよいし、シート状部材の厚さによっては複数枚重ねて穿孔してもよい。本発明では、シート状部材を穿孔して得られた複合誘電

- 体を積層することで、誘電体ブロックに所定パターンの空隙を周期的に配列させる。これにより、特に複雑な工程を要することなく、誘電体ブロックに所定パターンの空隙を短時間で形成することが可能となる。また、穿孔したシート状部材（複合誘電体）を積層するという新規な手法を採用することで、従来の方法では得ることが困難であった微細なパターンを有するフォトニック結晶を得ることもできる。誘電体ブロックを予め作製した後に、誘電体ブロックに穿孔して所定パターンの空隙を形成させるという従来の方法では、小径の穿孔用器具が誘電体ブロックに挿入される際、もしくは誘電体ブロックに挿入された後、誘電体ブロックの内部で破損してしまい、最終的に微細なパターンを有するフォトニック結晶を得ることが困難であった。これに対し、穿孔した薄い複合誘電体を予め作製し、これを積層することで所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得ることを特徴とする本発明のフォトニック結晶の製造方法によれば、従来よりも微細なパターンを有するフォトニック結晶を得ることもできる。
- 15 また、フォトニック結晶は欠陥を設けることで、光導波路などに使用することができ、従来の方法で作製した誘電体ブロックの内部に後から点欠陥を導入するのは困難である。これに対し、穿孔した複合誘電体を積層する本発明のフォトニック結晶の製造方法によれば、その内部に点欠陥が導入された誘電体ブロックを得ることも容易である。
- 20 また、第1および第2の複合誘電体は、スクリーン印刷等の印刷工法で得られるものとしてもよい。
- 第1および第2の複合誘電体を印刷工法で得る場合には、第1および第2の複合誘電体の積層も印刷工法を用いて行うことができる。
- 本発明では、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンで形成された複合誘電体を積層する、という新規な方法で誘電体ブロックを作製している。よって、25 第1および第2の複合誘電体の積層が完了した時点で、誘電体ブロックを、所定パターンの空隙が表裏面を貫通しており、その空隙内に空気が配置されるものとする。誘電体ブロックを作製した後に、誘電体ブロックに対し

てドライエッチング等を施すことで所定パターンの空隙を形成する方法と比較すると、短時間かつ高い精度で所定パターンの空隙を形成させることができるという点で、本発明の方法は有利である。

- 5 以上の本発明のフォトニック結晶の製造方法は、2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合、3次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合のいずれであっても適用可能である。つまり、セラミックス組成体に形成する孔のパターンを適宜選択することによって、2次元周期構造のみならず、3次元周期構造のフォトニック結晶を得ることもできる。特に、本発明を、2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製するために用いた場合
- 10 には、フォトニック結晶作製に要する時間を従来よりも大幅に短くすることができる。

- 以上の第1の形態の製造方法により、第1の誘電体と、第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とを備え、第1の誘電体と第2の誘電体とが所定の周期で配置されるフォトニック結晶であって、直径2mm以下の空隙が
- 15 所定パターンに形成された誘電体セラミックスからなる誘電体ブロックが第1の誘電体を構成し、空隙内に存在する空気が第2の誘電体を構成することを特徴とするフォトニック結晶を製造することができる。

- 以上、第1の誘電体が誘電体セラミックスから構成され、第2の誘電体が空気から構成される第1の形態について説明したが、次いで第1の誘電体および
- 20 第2の誘電体がいずれも誘電体セラミックスから構成される第2の形態について説明する。

- 第2の形態では、第1の誘電体および第2の誘電体を、いずれも誘電体セラミックスとする。誘電体セラミックスは、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも、比誘電率が高い。このため、
- 25 第1の誘電体および第2の誘電体の両者を誘電体セラミックスとすることで、小型かつ高強度のフォトニック結晶を得ることができる。また、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとの比誘電率の比率が大きくなるように両セラミックスの種類を適宜選択することで、バンドギャップが大きなフ

フォトニック結晶を得ることができる。なお、誘電体セラミックスは、半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも材料損失が小さい点でも、有利である。

第2の形態は、2つの形態を包含する。1つ目の形態（第2-1形態）は、  
5 厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたシート状の第1の複合誘電体および第2の複合誘電体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得る工程と、空隙内に第2の誘電体を配置する工程を備えることを特徴としている。

誘電体ブロックを予め作製した後に、誘電体ブロックに穿孔して所定パターンの空隙を形成させるという方法もあるが、第2-1形態では、穿孔した複合誘電体を積層することで誘電体ブロックに所定パターンの空隙を周期的に配列させる。これにより、特に複雑な工程を要することなく、誘電体ブロックに所定パターンの空隙を短時間で形成することが可能となる。なお、貫通孔は、複  
10 合誘電体1枚毎に穿孔してもよいし、複合誘電体の厚さによっては複数枚重ねて穿孔してもよい。  
15

また、複合誘電体に形成する孔のパターンを適宜選択することによって、2次元周期構造のみならず、3次元周期構造のフォトニック結晶を得ることもできる。これまで、完全バンドギャップが得られる2次元周期構造のフォトニック結晶として、空気円柱を誘電体中で三角格子上に配置することで、完全バン  
20 ドギャップが得られることがわかっていたが、誘電体の肉厚が薄いために作製が困難であった。これに対し、孔をあけやすい薄いシートに穿孔した複合誘電体を積層し、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得た後、誘電体ブロックの空隙内に、第2の誘電体を充填すれば、完全バンドギャップが得られる2次元周期構造のフォトニック結晶も、容易に得ることができ  
25 る。

また、本発明では、複合誘電体の積層が完了した時点で、誘電体ブロックを、所定パターンの空隙が表裏面を貫通しているものとすることもできる。誘電体ブロックを作製した後に、誘電体ブロックに対してドライエッチング等を施す



ことで所定パターンの空隙を形成する方法と比較すると、短時間かつ高い精度で所定パターンの空隙を形成させることができるという点で、本発明の方法は有利である。

- ここで、誘電体ブロックの空隙内に第2の誘電体を充填させるには、第2の
- 5 誘電体をスラリー状にして、これを誘電体ブロックの空隙内に充填するという方法が、充填の工程を簡略化および短時間化する上で有効である。なお、第2の誘電体は、粉末としてスラリーに含まれる。第2の誘電体を充填する方法として、誘電体をエピタキシャル結晶成長させるという方法も提案されているが（例えば、特開2001-237616号公報）、エピタキシャル結晶成長が可
- 10 能な誘電体の種類は自ずと限定されるとともに、所定の厚さまで誘電体をエピタキシャル結晶成長させるには膨大な時間を要する。これに対し、第2の誘電体を含む粉末スラリーを作製し、これを誘電体ブロックの空隙内に充填するという本発明の方法によれば、エピタキシャル結晶成長を用いる場合よりも第2の誘電体の選択肢が豊富であり、かつ第2の誘電体を誘電体ブロックの空隙内
- 15 に充填する工程を短時間で終えることができる。

誘電体ブロックの空隙内へスラリー状の第2の誘電体を充填する際には、吸引または加圧による方法が好適である。ここで、スラリーの充填方法および誘電体ブロックの空隙のサイズに応じて、第2の誘電体を含むスラリー（以下、「粉末スラリー」という）の粘度を適宜設定することが望ましい。例えば、吸

20 引によって粉末スラリーを充填する場合には、粉末スラリーをバインダレスとし、粘度を低下させることで、充填工程に要する時間をより一層短縮することができる。

誘電体ブロックの空隙内へスラリー状の第2の誘電体を充填した後に、第1の誘電体と第2の誘電体を同時焼成することができる。この場合には、第1の

25 誘電体および第2の誘電体を、同時焼成可能という条件を満たすようにして予め選択しておく。なお、第2の誘電体が充填された誘電体ブロックを乾燥させた成形体をそのままフォトリソグラフィ結晶として用いてもよいが、焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上する。

本発明のフォトニック結晶の製造方法では、複合誘電体の厚さを1～800  $\mu\text{m}$ とすることが望ましい。複合誘電体の厚さをこの範囲とすることで、複合誘電体に所定パターンの孔を形成する際のハンドリングを良好なものとするこ  
とができる。また、シート厚が厚くなりすぎると、孔の断面形状がいびつにな  
りやすい。そして、孔の断面形状がいびつな複合誘電体を積層して誘電体ブロッ  
5 ックを形成したとすると、誘電体ブロック中の空隙のパターンを所望のパター  
ンとすることができず、最終的に所望のバンドギャップを有するフォトニック  
結晶を得ることが困難となる。これに対し、誘電体シートの厚さを1～800  
 $\mu\text{m}$ とすることで、ハンドリングを良好なものとしつつ、所望のパターンを有  
10 する空隙を誘電体ブロック中に形成することが可能となる。

以上の本発明のフォトニック結晶の製造方法は、2次元周期構造を有するフ  
ォトニック結晶を作製する場合、3次元周期構造を有するフォトニック結晶を  
作製する場合のいずれであっても適用可能であることは上述の通りである。

次に、第2の形態の2つ目の形態（第2-2形態）について説明する。第2  
15 -2形態は、複数の誘電体セラミックスがそれぞれ同一面内に周期的に配置さ  
れたセラミックス複合体（複合誘電体）を積層することを要旨とするものであ  
る。つまり、第1の複合誘電体および第2の複合誘電体は、第1の誘電体に対  
応する部位に第1の誘電体を構成する第1のセラミックス組成物を配設し、第  
2の誘電体に対応する部位に第2の誘電体を構成する第2のセラミックス組成  
20 物を配設することにより作製されることを特徴としている。

ここで、第1のセラミックス組成物は、粉末状の第1の誘電体セラミックス  
と分散媒、バインダ樹脂等との混合物から構成される。同様に、第2のセラミ  
ックス組成物は、粉末状の第2の誘電体セラミックスと分散媒、バインダ樹脂  
等との混合物から構成される。第1および第2のセラミックス組成物の配設方  
25 法は特に限定されるものではないが、例えば印刷工法を用いて、両組成物をそ  
れぞれ同一面内に配設することができる。

第1のセラミックス組成物の配設および第2のセラミックス組成物の配設を  
行う形態としては、所定領域に第1のセラミックス組成物のみを配設した後に

第2のセラミックス組成物を配設する（またはその逆）形態が例えば挙げられる。もしくは、所定領域に第1のセラミックス組成物および第2のセラミックス組成物を、例えばグラビア印刷工法等を用いて1つの印刷工程で印刷するようにしてもよい。

- 5      以上の第2－2形態では、セラミックス複合体の積層について2つの形態を包含している。

1つ目の形態は、第1のセラミックス組成物および第2のセラミックス組成物を含む複数のセラミックス複合体を予め作製した後に、セラミックス複合体を積層するというものである。

- 10      また、2つ目の形態は、まず、第1のセラミックス組成物のみを配設した後に、第2のセラミックス組成物を配設することによりセラミックス複合体を作製する。そして、セラミックス複合体上に、第1のセラミックス組成物（または第2のセラミックス組成物）を配設し、その後、第2のセラミックス組成物（または第1のセラミックス組成物）の他方を配設する。この工程を繰り返すことにより、セラミックス複合体を積層するというものである。
- 15

本発明のフォトニック結晶の製造方法において、セラミックス複合体の積層体を焼成する工程をさらに備えることができる。セラミックス複合体の積層体を焼成することで、第1のセラミックス組成物に含まれる第1の誘電体セラミックスと第2のセラミックス組成物に含まれる第2の誘電体セラミックスは同時焼成されることとなる。よって、焼成工程を実施する場合には、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスを、同時焼成可能という条件を満たすようにして予め選択しておく。なお、セラミックス複合体の積層体をそのままフォトニック結晶として用いてもよいが、上述の通り焼結体とすることで機械的強度や誘電率がさらに向上する。

- 20
- 25      以上の本発明のフォトニック結晶の製造方法は、2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合、3次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する場合のいずれであっても適用可能であることは上述の通りである。

以上の第2－1形態または第2－2形態により、ブロック状の第1の誘電体

- と、当該第1の誘電体と異なる比誘電率を有する円柱状の第2の誘電体とが所定の周期で配置されるフォトニック結晶であって、第1の誘電体および第2の誘電体はいずれも誘電体セラミックスから構成され、第2の誘電体は直径2 mm以下の複数の円柱状部材から構成されており、第2の誘電体は第1の誘電体の表裏面を貫通するように所定間隔毎に配置されている新規なフォトニック結晶を得ることができる。

#### 図面の簡単な説明

- 第1図は本発明に係るフォトニック結晶の製造方法を説明するための図、第2図は第1実施形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図、第3図は本発明で使用可能な誘電体セラミックスの誘電特性を示す図表、第4図は第2実施形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図、第5図はフォトニック結晶をシート工法により作製する場合のフローチャート、第6図は、第5図に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図、第7図は2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する際に用いるパターンの一例を示す平面図、第8図はフォトニック結晶をシート工法により作製する場合のフローチャート、第9図はフォトニック結晶を印刷工法により作製する場合のフローチャート、第10図は第9図における印刷工程を模式的に示す図、第11図はフォトニック結晶を印刷工法により作製する場合のフローチャート、第12図は第11図に示したセラミックス複合体作製工程を模式的に示す断面図、第13図は第11図に示した積層工程を模式的に示す断面図、第14図はフォトニック結晶を印刷工法により作製する場合のフローチャート、第15図は第14図に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図、第16図はフォトニック結晶を印刷工法により作製する場合のフローチャート、第17図は第16図に示した印刷工程を模式的に示す断面図、第18図はセラミックス複合体を得るための変形例を説明するための図、第19図は第1実施例で得られた2次元周期構造を有する試料1の写真、第20図は第1実施例で得られた2次元周期構造を有する試料1の反射および透過特性の測定結果を示すグラフ、第21図は3次元周期構造を

有するフォトニック結晶として知られるヤブロノバイト (Yablonovite) の斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

- 5 第1図は、本発明のフォトニック結晶の製造方法を説明するための図である。第1図に示すように、本発明は、厚さの薄いグリーンシート（複合誘電体、シート状部材）11を積層し一体化することで、フォトニック結晶100を作製することを特徴とする。フォトニック結晶100は第1の誘電体から構成される第1誘電体部1と、第2の誘電体から構成される第2誘電体部2とを備える。
- 10 本発明は、第1の誘電体および第2の誘電体のいずれか一方を誘電体セラミックスとし、他方を空気とする形態（以下、「第1の形態」という）と、第1の誘電体および第2の誘電体の両者を誘電体セラミックスとする形態（以下、「第2の形態」という）を含む。

- 以下、フォトニック結晶100の構造ならびにフォトニック結晶100の製  
15 法について順次説明する。

〔第1実施形態〕

＜フォトニック結晶の構造＞

第2図は、第1実施形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図である。

- フォトニック結晶100は第1誘電体部1と、第2誘電体部2とを備える。  
20 このフォトニック結晶100は2次元周期構造を備えており、第2誘電体部2は、フォトニック結晶100の表裏面を貫通するように配置されている。

第1実施形態におけるフォトニック結晶100は、誘電体セラミックスが第1誘電体部1を構成し、誘電体としての空気が第2誘電体部2を構成する。

- 第1誘電体部1を構成する誘電体セラミックスは、SiやGaAs等の半導  
25 体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも比誘電率が大きい  
ため、素子を小型化することが可能となる。誘電体内の波長は比誘電率の平方根に反比例し、比誘電率の大きい材料ほど、波長短縮効果が大きく、素子の小型化に有利であるからである。

一方、第2誘電体部2を構成する空気は、損失が小さいという利点がある。また、空気の比誘電率が1であるため、第2の誘電体として空気を用いることで、第1誘電体部1の比誘電率と第2誘電体部2の比誘電率との比率を大きくすることができる。第1誘電体部1の比誘電率と、第2誘電体部2の比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができる。

このように、第1の誘電体として誘電体セラミックスを使用し、第2の誘電体として空気を使用することで、広帯域なバンドギャップを形成することができ、低損失および素子の小型化に有利なフォトニック結晶100を得ることができる。

- 10 第1実施形態におけるフォトニック結晶100において、第2の誘電体としての空気は直径2mm以下の円柱状の空隙に存在している。詳しくは後述するが、本発明では、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたセラミックス組成体を積層してフォトニック結晶100を作製しているため、直径2mm以下という微細な空隙をフォトニック結晶100中に形成させることが可能
- 15 となっている。フォトニック結晶100の強度を高めるには、第2の誘電体が配置される空隙のサイズ、つまり第2誘電体部2のサイズを微細化することが有効である。

- なお、フォトニック結晶100に求められる特性に応じて、第2の誘電体が配置される空隙の配置、サイズ、形状等を適宜、設定することができる。よって、第2の誘電体が配置される空隙のサイズを直径2mmを超えるものとする
- 20 こともできるし、空隙を円柱状ではなく直方体状とすることも、もちろん可能である。

第1の誘電体としての誘電体セラミックスは、フォトニック結晶100に求められる特性に応じて、適宜選択される。

- 25 上述したように、第1の誘電体の比誘電率と、第2の誘電体の比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができるため、誘電体セラミックスとしては比誘電率の高いものが望ましい。なお、望ましい比誘電率の比率は、最終的に得たいフォトニック結晶100の特性等に依存する。

また、使用する周波数帯域において材料損失が少ない誘電体セラミックスが第1の誘電体として望ましい。誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶100を作製する場合において、フォトニック結晶100の用途によっては、それらの物質に起因する材料損失は無視することができないからである。損失がほぼゼロであり損失を考慮する必要がない空気と、損失が少ない誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶100を構成することで、フォトニック結晶100を用いた素子を、より一層、低損失のものとすることができる。

誘電体セラミックスとしては、 $Al_2O_3$ 系セラミックス、 $TiO_2$ 系セラミックス、 $MgTiO_3$ 系セラミックス、 $CaTiO_3$ 系セラミックス、 $SrTiO_3$ 系セラミックス、 $CaZrO_3$ 系セラミックス、 $BaZrO_3$ 系セラミックス、 $MgTiO_3-CaTiO_3$ 系セラミックス、 $(Zr, Sn)TiO_4$ 系セラミックス、 $BaTi_4O_9$ 系セラミックス、 $Ba_2Ti_9O_{20}$ 系セラミックス、 $La_2Ti_2O_7$ 系セラミックス、 $Nd_2Ti_2O_7$ 系セラミックス、 $BaO-TiO_2$ -希土類系セラミックス、 $Ba(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $CaTiO_3-NdAlO_3$ 系セラミックス、 $(Ba, Pb)Nd_2Ti_4O_{12}$ 系セラミックス、 $(Ba, Pb)(Nd, Bi)_2Ti_4O_{12}$ 系セラミックス、 $SiO_2$ 系セラミックス、ガラスコンポジット材料等を用いることができる。これらは単独または2種類以上を混合して使用できる。

ここで、 $Al_2O_3$ 系セラミックスとは、組成的には $Al_2O_3$ のみを含む系、または $Al_2O_3$ に他の少量の添加物を含む系であり、主成分として $Al_2O_3$ の結晶構造が保持されているものを意味する。他の系のセラミックスについても同様である。

上述した誘電体セラミックスのうち、代表的なものの比誘電率、 $Q \cdot f$  ( $Q$  値と周波数の積)、 $\tau f$  (共振周波数の温度係数)を第3図に示しておく。第3図に示したもののうち、比誘電率が高く、低損失、かつ温度特性にも優れた $BaO-TiO_2$ -希土類系セラミックス、 $(Ba, Pb)Nd_2Ti_4O_{12}$ 系セラ

ミックス、 $(Ba, Pb)(Nd, Bi)_2Ti_4O_{12}$ 系セラミックスが特に望ましい。

### [第2実施形態]

#### <フォトニック結晶の構造>

5 第4図は、第2実施形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図である。

第4図に示すように、フォトニック結晶100Aは、第1誘電体部1Aと、第2誘電体部2Aとを備える。第1誘電体部1Aは第1の誘電体セラミックスから構成され、一方、第2誘電体部2Aは第2の誘電体セラミックスから構成される。このフォトニック結晶100Aは、2次元周期構造を備えており、第2誘電体部2Aは、フォトニック結晶100Aの表裏面を貫通している。

10 第2実施形態におけるフォトニック結晶100Aは、第1誘電体部1Aおよび第2誘電体部2Aとして、いずれも誘電体セラミックスを使用することを特徴とする。このように、2種類の誘電体セラミックスを用いることで、高強度かつ高特性のフォトニック結晶100Aを得ることができ、かつ素子を小型化

15 することが可能となる。

第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスは、フォトニック結晶100Aに求められる特性に応じて、例えば、チタン酸バリウム系セラミックス、チタン酸鉛系セラミックス、チタン酸ストロンチウム系セラミックス、二酸化チタン系セラミックス、バリウム・ネオジ・チタニウム系セラミックス、アルミナ系セラミックス、シリカ系セラミックス、ガラスコンポジット

20 材料等の中から適宜選択される。

以下、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの選択基準を示す。

#### <第1の選択基準>

25 第1の誘電体セラミックスの比誘電率と、第2の誘電体セラミックスの比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができる。よって、第1の誘電体セラミックスの比誘電率と、第2の誘電体セラミックスの比誘電率との比率が大きくなるように、第1の誘電体セラミックスおよび第



2の誘電体セラミックスをそれぞれ選択する。

一般的に、高周波用誘電体セラミックスの比誘電率は3～100程度であるため、第1の誘電体セラミックスとして比誘電率の低いものを選択する場合には、第2の誘電体セラミックスとして比誘電率の高いものを選択することで、  
5 広帯域なバンドギャップを形成することができる。逆に、第1の誘電体セラミックスを比誘電率の高いものとし、第2の誘電体セラミックスを比誘電率の低いものとするすることで、比誘電率の比率を大きくして広帯域なバンドギャップを形成するようにしてもよい。

望ましい比誘電率の比率は、最終的に得たいフォトニック結晶100Aの特性等に依存する。  
10

#### <第2の選択基準>

第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスとして、使用する周波数帯域において材料損失が少ない誘電体セラミックスを選択する。複数の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶100Aを作製する場合において、フォトニック結晶100Aの用途によっては、それらの物質に起因する材料損失は無視することができないからである。損失が少ない誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶100Aを構成することで、フォトニック結晶100Aを用いた素子を損失の低いものとすることができる。  
15

#### <第3の選択基準>

詳しくは後述するが、本実施の形態におけるフォトニック結晶100Aは、第1誘電体部1Aおよび第2誘電体部2Aは同時焼成される。よって、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスとして、同時焼成が可能なもの、具体的には熱収縮のマッチングがとれているものを選択する。熱収縮のマッチングがとれているか否かは、同一温度で焼成した際の収縮率等で、判断すればよい。  
20  
25

以上の選択基準に基づき、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスを選択する。本実施の形態では、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの比誘電率の比率が大きくなるよう、第1の誘電体

セラミックスとして比誘電率が低い誘電体セラミックスを使用し、一方、第2の誘電体セラミックスとして比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶100Aを作製する場合を例にして、以下の説明を行う。

第1誘電体部1Aを構成する第1の誘電体セラミックスとしては、比誘電率が低いセラミックス材料やガラスコンポジット材料等を使用する。具体的には、  
5 BaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系セラミックスやSiO<sub>2</sub>系セラミックス、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系セラミックス、2MgO-SiO<sub>2</sub>系セラミックス、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系セラミックス、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>系セラミックス、ZrO<sub>2</sub>系セラミックス等を第1の誘電体セラミックスとして用いることができる。これらは、いずれも比誘電率  
10 が2~20程度と低く、かつ誘電損失が低いため、第1の誘電体セラミックスとして好適である。

第2誘電体部2Aを構成する第2の誘電体セラミックスとしては、比誘電率が高いセラミックス材料やガラスコンポジット材料等を使用する。具体的には、  
15 BaO-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO<sub>2</sub>-CuO系セラミックスやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>系セラミックス、TiO<sub>2</sub>系セラミックス、BaO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>系セラミックス、BaO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-SrTiO<sub>3</sub>系セラミックス、BaO-PbO-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>系セラミックス、BaNd<sub>2</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>14</sub>系セラミックス、BaSm<sub>2</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>14</sub>系セラミックス、Ba(Zn, Nb)O<sub>3</sub>系セラミックス、BaTi<sub>4</sub>O<sub>9</sub>系セラミックス、Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>系セラ  
20 ミックス、(Zr, Sn)TiO<sub>4</sub>系セラミックス、Ba(Zn, Ta)O<sub>3</sub>系セラミックス、Ba(Mg, Ta)O<sub>3</sub>系セラミックス、MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub>系セラミックス等を第2の誘電体セラミックスとして用いることができる。これらは、いずれも比誘電率が5~200程度と高く、かつ誘電損失が低いため、第2の誘電体セラミックスとして好適である。

25 ここで、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスの望ましい組合せを、以下に示しておく。

<組合せ1>

第1の誘電体セラミックス：

$\text{BaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ 系誘電体セラミックス (比誘電率 6.4)

第2の誘電体セラミックス:

$\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系誘電体セラミックス  
(比誘電率 75.4)

5 <組合せ2>

第1の誘電体セラミックス:

$\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系誘電体セラミックス (比誘電率 4.7)

第2の誘電体セラミックス:

$\text{TiO}_2-\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{glass}$ 系誘電体セラミックス (比誘電率 22)

10 上述の組合せにおいて、比誘電率  $\epsilon$  が 6.4 である  $\text{BaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ 系誘電体セラミックスと、比誘電率が 75.4 である  $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系誘電体セラミックスとの組合せは、特に望ましい。この組合せは比誘電率の比率が約 11.8 と大きく、しかも熱収縮のマッチングがとれているため、同時焼成が可能であるからである。

15 ところで、2種類の誘電体材料を用いてフォトニック結晶を作製する場合に、誘電体材料のうち一方を空気とすることが多い。これに対し、第2実施形態におけるフォトニック結晶 100A では、複数種類の誘電体セラミックス、すなわち、第1の誘電体セラミックスおよび第2の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶 100A を構成するようにしたので、製品の強度を向上させることができる。

20 以上、誘電体セラミックスと空気とを使用するフォトニック結晶 100、ならびに2種類の誘電体セラミックスを使用するフォトニック結晶 100A について詳述した。フォトニック結晶 100、100A の寸法は、いずれも使用する周波数に応じて決定する必要がある。例えば、Kバンド (18~26.5 GHz) において4~5周期分の周期構造としたときに、第1実施形態および第2実施形態におけるフォトニック結晶 100、100A の寸法は、8~12 mm × 2~6 mm × 16~20 mm 程度である。なお、ここでの「周期」は第2誘電体部 2 (または第2誘電体部 2A) を配置する周期を示す。

第1実施形態および第2実施形態におけるフォトリソグラフィ結晶100, 100 Aは、特にマイクロ波～サブミリ波領域にバンドギャップを持ち、導波路、フィルタ、レゾネータ、分波器等として好適に用いられる。

次に、フォトリソグラフィ結晶100, 100 Aの製造方法について説明する。

- 5 はじめに、いわゆるシート工法を用いて誘電体ブロックを形成し、フォトリソグラフィ結晶100を得る例を第1の手法として示す。詳しくは後述するが、第1の手法では予め作製した誘電体セラミックスシートに厚さ方向に貫通する孔を所定パターンで形成し、この穿孔された誘電体セラミックスシートを積層することで、所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロックを形成する例を示す。

10 [第1の手法]

第5図は、第2図に示したフォトリソグラフィ結晶100の製造方法の一例を示すフローチャートである。また、第6図は、第5図中に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

- 15 第5図に示すように、第1の手法は、誘電体セラミックス粉末および樹脂等を混合しシート化するシート作製工程、シート作製工程で得られたシートに厚さ方向に貫通する孔を所定パターンに穿孔するシートパンチング工程、所定パターンに穿孔されたシートを積層し誘電体ブロックを得るシート積層工程、誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、所定形状に切り出された成形体を焼成する焼成工程を含む。

- 20 第1の手法では、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程を経ることで、第1の誘電体を含む誘電体ブロックが作製される。よって、シート作製工程、シートパンチング工程およびシート積層工程を総称して、適宜、「誘電体ブロック作製工程」と称する。また、誘電体ブロック作製工程を経ることで、第2の誘電体としての空気が、第1の誘電体を含む誘電体ブロック中
- 25 に配置されることとなる。

以下、第5図に示した各工程について詳述する。

<シート作製工程>

シート作製工程では、まず、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および

分散媒をボールミルやらいかい機等で混合してスラリーを得る。誘電体セラミックス粉末の平均粒径は $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度とすればよい。平均粒径が $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の誘電体セラミックス粉末を用いることで、高密度成形を可能としつつ、粉末の凝集を抑制することができ、周期構造を安定して形成することができる。誘電体セラミックス粉末の望ましい平均粒径は $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ 、より望ましい平均粒径は $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ である。

バインダ樹脂としてはアクリル系樹脂、ブチラール系樹脂、エチルセルロース系樹脂等を用いることができる。また、分散媒としては、アセトン、トルエン、メチルエチルケトン、エタノール等の各種有機溶剤を用いることができる。

10 誘電体セラミックス、バインダ樹脂および分散媒の比率は、それぞれ $v o 1\%$ で $10 \sim 40 : 5 \sim 20 : 40 \sim 85$ 程度とすればよい。

なお、必要に応じて、オレフィンマレイン酸コポリマーやオレイン酸等の分散剤をさらに添加することができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を誘電体セラミックスに対し、 $0.1 \sim 5 \text{ wt}\%$ 程度とすればよい。

15 こうして得られたスラリーを、ドクターブレード法等を用いてフィルム（例えばPETフィルム）上に塗布し、乾燥させ、第6図（a）に示すようなグリーンシート11を得る。

グリーンシート11には、後述するシートパンチング工程で厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに穿孔される。グリーンシート11の厚さが厚すぎると、

20 グリーンシート11を貫通する孔の断面形状がいびつになる。具体的には、シート上面における孔径とシート下面における孔径が相違して台形状となりやすい。孔の断面形状がいびつなグリーンシート11を積層して熱圧着すると、誘電体ブロック内の空隙の形状もいびつになり、所望のパターンを形成することができず、最終的に所望のバンドギャップを有するフォトニック結晶100を得ることが困難となるため、好ましくない。一方、グリーンシート11の厚さが薄すぎると、グリーンシート11の強度が低く、ハンドリングが難しい。よ

25 って、グリーンシート11の厚さは $1 \sim 800 \mu\text{m}$ 、より望ましくは $10 \sim 500 \mu\text{m}$ 、さらに望ましくは $20 \sim 200 \mu\text{m}$ の範囲で適宜選択すればよい。

但し、望ましいシート厚は穿孔方法にも依存するものであり、穿孔方法に応じて適宜設定する必要がある。

<シートパンチング工程>

- 第6図(b)に示すように、シートパンチング工程では、シート作製工程で得られたグリーンシート11に厚さ方向に貫通する孔hが所定パターンに穿孔される。このパターンは、最終的に得たいフォトリソグラフィ結晶が2次元周期構造のものか、3次元周期構造のものか、等に応じて適宜決定する。例えば、第2図に示した2次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶100を得たい場合には、第7図に示した2次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶100を得たい場合には、第7図に示すようなパターンを有するパンチを準備すればよい。こうしたパンチを使用することで、グリーンシート11に一工程で複数の孔hを穿孔することができる。なお、グリーンシート11の厚さによっては、グリーンシート11を複数枚重ねてパンチングを行ってもよい。また、第7図に示すようなパターンを有するパンチを用いることは必須の要件ではなく、一孔のパンチを用いてグリーンシート11に穿孔してもよい。

- 15 所定パターンに穿孔されたグリーンシート11を得るには、パンチングの他に、ドリリング、レーザ照射等の方法が適用可能である。

- ここで、孔hの大きさは、最終的に得たいフォトリソグラフィ結晶100の特性等に応じて適宜設定する。グリーンシート11、つまりシート状部材に対し、上述したパンチング等の方法で孔hを穿孔することで、ブロック状部材に対して  
20 ドライエッチング等の方法で穿孔していた従来の場合よりも、微細な穿孔パターンをグリーンシート11に形成させることができる。

- また、シートパンチング工程で穿孔する孔hのサイズは、焼成時の収縮率を考慮して決定する。例えば、焼成後に直径1mmの空隙が形成されたフォトリソグラフィ結晶100を得たい場合には、シートパンチング工程では1.1~1.3  
25 mm程度の孔hを穿孔すればよい。焼成前の誘電体ブロック13が50~60%程度の相対密度をもち、それが焼成により100%の密度になると仮定すると、その線収縮率は15.7~20.6%となる。この場合に、焼成後に直径1mmの空隙が形成されたフォトリソグラフィ結晶100を得たいとすると、シー

トパンチング工程では1. 19～1. 26 mm程度の孔hを穿孔すればよい。

また、3次元周期構造のフォトニック結晶を最終的に得たい場合には、3次元構造を複数の薄層の積層体と考え、各グリーンシート11について、各々の層に相当する形状に穿孔すればよい。なお、穿孔方法は、2次元周期構造のフ

5    オトニック結晶100を作製する場合と同様である。

#### <シート積層工程>

第6図(c)に示すように、シート積層工程では、孔hが所定パターンで穿孔されたグリーンシート11を積層し、熱圧着する。この熱圧着は、グリーンシート11を1枚積層する毎に行ってもよいし、複数枚積層してから行っても  
10    よい。グリーンシート11の積層および熱圧着により、第6図(d)に示すような所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロック13が最終的に得られる。つまり、熱圧着はグリーンシート11を一体化するために行う。

熱圧着の際の加熱温度は、グリーンシート11を作製する際に用いた樹脂成分に依存する。例えば、シート作製に用いた樹脂がアクリル樹脂である場合には、加熱温度を70～90℃に設定すればよい。また、圧力は、シートの厚さに応じて適宜設定すればよいが、20～80 kgf/cm<sup>2</sup>程度に設定すればよい。あまり温度が高すぎると、もしくは圧力が高すぎると、グリーンシート11に形成した孔hの形状が著しく変化し、誘電体ブロック13中の空隙が潰れてしまう。誘電体ブロック13中の空隙が潰れると、所望のパターンを有する  
15    フォトニック結晶100を最終的に得ることが困難となる。一方、温度が低すぎると、もしくは圧力が低すぎると、グリーンシート11同士の結合が不十分となり、剥がれが生じてしまう。グリーンシート11同士の結合が不十分である場合には、焼成後にデラミネーションやクラックが発生し、やはり所望のパターンを有するフォトニック結晶100を最終的に得ることが困難となる。

25    孔hが形成されたグリーンシート11を積層して得られた誘電体ブロック13には、所定パターンの空隙が形成されることとなる。第6図(d)の例では、円柱状の空隙が、誘電体ブロック13の表裏面を貫通するようにして多数形成されている。

なお、第6図(d)では、グリーンシート11の積層数が6枚の例を示したが、積層数は特に限定されるものではなく、最終的に得たいフォトニック結晶100のサイズおよびグリーンシート11の厚さに応じて適宜決定する。

- 5 以上のように、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程を経ることで、誘電体ブロック13が得られる。

#### <切り出し工程>

切り出し工程では、最終的に得られるフォトニック結晶100の用途に応じて、誘電体ブロック13を所定形状に切り出す（なお、所定形状に切り出された後の誘電体ブロック13を、適宜「成形体」と称する）。

- 10 <脱バインダ処理>

成形体には、グリーンシート11に相当する部分に多くの樹脂成分が含有されているため、焼成工程に先立ち、予め脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理は通常の場合、つまり、バインダが分解でき、ネックグロスが始まらない条件で行えばよい。例えば、大気中、昇温速度：30～120℃/h、保持温度：

- 15 400～600℃、保持時間：0～2時間で脱バインダ処理を行う。

脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトニック結晶100として用いてもよい。成形体中の誘電体セラミックスは第1誘電体部1を構成し、一方、第1誘電体部1における所定パターンの空隙内に存在する空気が第2誘電体部2を構成する。

- 20 以下に示す焼成工程を行い、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や比誘電率がさらに向上したフォトニック結晶100を得ることができる。

#### <焼成工程>

脱バインダ処理を行った後、焼成工程に進む。焼成工程では、成形体を所定の雰囲気温度に加熱保持する。

- 25 焼成条件は、誘電体セラミックスの種類等に応じて適宜設定すればよい。例えば、大気中、昇温速度：300～1200℃/h、保持温度：800～1000℃、保持時間：0.1～3時間で焼成する。

以上、詳述したように、第1の手法では、厚さ方向に貫通する孔hをグリー



- ンシート 11 に所定パターンで穿孔し、所定パターンの孔  $h$  が穿孔されたグリーンシート 11 を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロック 13 を得るようにした。複雑な工程を要しない第 1 の手法におけるフォトニック結晶 100 の製造方法によれば、フォトニック結晶 100 を
- 5 簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第 1 の手法におけるフォトニック結晶 100 の製造方法は、量産性に優れる。

- 第 1 の手法では、他の誘電体材料よりも比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶 100 を作製するようにしたので、素子サイズを小さくすることができる。さらに、比誘電率が高い誘電体セラミックスと、比
- 10 誘電率が 1 である空気とを使用してフォトニック結晶 100 を作製するようにしたので、両誘電体の比誘電率の比率を大きくすることができ、広帯域のバンドギャップを得ることができる。

- シート積層工法を採用した第 1 の手法では、微細な孔  $h$  がその表裏面を貫通したフォトニック結晶 100 を容易に得ることができる。グリーンシート 11
- 15 それぞれについて穿孔パターンが同一である例を示したが、穿孔パターンを各シート毎に適宜変更させることももちろん可能である。例えば、3次元周期構造のフォトニック結晶を作製する場合には、グリーンシート 11 の穿孔パターンを各シート毎に適宜変更すればよい。例えば、第 21 図に示したヤプロノバ
- 20 子状に配置されるという穿孔パターンを、各シート毎に適宜変更すればよい。このように、シート積層工法を採用した第 1 の手法では、パターンの形状を適宜選択することで、所望の周期構造を備えたフォトニック結晶 100 を得ることができるため、周期構造の自由度も高い。

- 次に、いわゆるシート工法を用いて誘電体ブロック 13 を形成し、フォトニ
- 25 ック結晶 100A を得る例を第 2 の手法として示す。

#### [第 2 の手法]

第 8 図は、第 4 図に示したフォトニック結晶 100A の製造方法の一例を示すフローチャートである。

- 第8図に示すように、第2の手法では、第1の手法と同様の条件で誘電体ブロック13を作製する。そして、この誘電体ブロック13の空隙内に、粉末状の第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填することで、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとが周期的に配列されたフォトニック結晶100Aを作製する。
- 5 粉末スラリー充填工程および乾燥工程を経ることで、第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーが第2誘電体部2Aとなる。
- 以下、第2の手法の特徴的な部分について詳述する。
- まず、粉末スラリー充填工程に先立ち行われる粉末スラリー作製工程について説明する。
- 10 <粉末スラリー作製工程>
- 粉末スラリー作製工程では、第2の誘電体セラミックス、分散媒および分散剤をらいかい機等で混合し、所定の粘度を有する粉末スラリーを作製する。粉末スラリーをバインダレス、具体的にはバインダ樹脂を添加しないものとする
- 15 ことで、粉末スラリーの粘度が高粘度になりすぎることを防止することができる。
- 第2の誘電体セラミックスとしては、上述した比誘電率が高い誘電体セラミックスを用いることができる。
- 第1の誘電体セラミックスと同様の理由に基づき、第2の誘電体セラミックスの平均粒径は0.1~20 $\mu\text{m}$ 程度とすればよい。第2の誘電体セラミックスの望ましい平均粒径は0.5~10 $\mu\text{m}$ 、より望ましい平均粒径は0.5~5 $\mu\text{m}$ である。
- 20 なお、焼成時に、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスとの挙動を合わせるために、第1の誘電体セラミックスのサイズと第2の誘電体セラミックスのサイズを略同一としておくことが望ましい。
- 25 分散媒としては、ターピネオール、ブチルカルビトール等を用いることができる。分散媒の種類や量を適宜選択することで、粉末スラリーの粘度を調整することができる。例えば、ブチルカルビトールは粘度が低く、一方、ターピネ

オールは粘度が高いため、両者を適当な比率で混合して分散媒とすることで、粉末スラリーの粘度を適宜、調整することができる。

- 粉末スラリー中の粉体濃度は、誘電体ブロック 1 3 中の粉体密度と同等となるように設定する。上述した条件で誘電体ブロック 1 3 を作製した場合には、
- 5 第 2 の誘電体セラミックスおよび分散媒の比率は、vol % で 40 ~ 55 : 45 ~ 60 程度、望ましくは 45 ~ 55 : 45 ~ 55 程度とすればよい。但し、粉末スラリーの粘度は、グリーンシート 1 1 に形成する孔 h のサイズに応じて適宜設定する必要がある。また、乾燥工程における乾燥収縮分も考慮して、粉末スラリーの粘度を設定する。

- 10 また、必要に応じて、オレイン酸等の分散剤をさらに添加することができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を第 2 の誘電体セラミックスに対し、0.2 ~ 5 wt % 程度とすればよい。分散剤の種類は特に限定されるものではないが、粉末スラリーの粘度を低くする上で有効であるという理由から、オレフィンマレイン酸コポリマーが望ましい。分散剤としてオレフィンマレイ
- 15 ン酸コポリマーを選択する場合の望ましい添加量は、第 2 の誘電体セラミックスに対し、0.2 ~ 5 wt % 程度である。

- なお、上述したように、粉末スラリーをバインダレスとすることで、粉末スラリーの粘度を低いレベル、具体的には後述するスラリー充填工程に適した低粘度のものとすることができる。但し、グリーンシート 1 1 に形成する孔 h の
- 20 径やスラリーの充填方法に応じて、適宜、樹脂成分（例えば、エチルセルローズ）添加して粉末スラリーの粘度を調整してもよい。

#### <粉末スラリー充填工程>

- 粉末スラリー充填工程では、誘電体ブロック 1 3 の空隙内に粉末スラリーが充填される。なお、粉末スラリー作製工程は、粉末スラリー充填工程の前に行われればよく、必ずしもシート作製工程と同じ段階で行われる必要はない。
- 25

粉末スラリーの充填方法としては吸引が望ましい。吸引により誘電体ブロック 1 3 の空隙内に粉末スラリーを充填するには、まず、金属、セラミックス、ポリテトラフルオロエチレン（商標名：テフロン）等の多孔質の吸引板に、誘

- 電体ブロック 1 3 を載置する。次いで、誘電体ブロック 1 3 の上部、つまり誘電体ブロック 1 3 において吸引板と接していない側に、第 2 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを十分にせる。そして、ポンプを用いて、吸引板の下から粉末スラリーを吸引する。これにより、誘電体ブロック 1 3 中の空隙内に、
- 5 粉末スラリーを密に充填させることができる。吸引完了後に、誘電体ブロック 1 3 上部に残存している粉末スラリーをスキージ等で除去する。

- 粉末スラリーの粘度は、誘電体ブロック 1 3 の空隙の大きさに応じて適宜設定する。粘度が高すぎると、粉末スラリーの吸引が難しく、一方、粘度が低すぎると、成形体、つまり粉末スラリーを充填させた誘電体ブロック 1 3 を乾燥
- 10 させることで得られる成形体にポアが発生しやすい。よって、誘電体ブロック 1 3 の空隙内に粉末スラリーを効率よく充填することが可能な程度に、粉末スラリーの粘度を設定する。

- なお、粉末スラリーの充填方法として、吸引の他には加圧による充填方法が望ましい。加圧による充填方法を採用するには、まず、誘電体ブロック 1 3 の
- 15 上部に粉末スラリーを十分にせる。そして、空気圧やスキージによる塗布などの方法を用いて圧力をかけて、粉末スラリーを誘電体ブロック 1 3 の空隙内に充填させればよい。

#### <乾燥工程>

- 乾燥工程では、粉末スラリーが充填された誘電体ブロック 1 3 を乾燥させる
- 20 ことで、成形体を得る。乾燥方法は特に限定されるものではなく、自然乾燥でも加熱乾燥でもよい。

- なお、乾燥後に得られた成形体の密度が十分に高くない場合には、乾燥工程後に熱プレスを行ってもよい。但し、第 1 誘電体部 1 A と第 2 誘電体部 2 A の弾性挙動が相違するような場合には、熱プレスにより、両材質間に応力が発生
- 25 して成形体にクラックが発生する場合がある。よって、熱プレスを行う際には、第 1 誘電体部 1 A と第 2 誘電体部 2 A とが同等の弾性挙動をもつように、材料の選択等を行う必要がある。例えば、粉末スラリーを作製する際に、グリーンシート 1 1 作製時に使用したバインダ樹脂を所定量含有させることで、第 1 誘

電体部 1 A と第 2 誘電体部 2 A との弾性挙動を合わせることができる。

<切り出し工程>

切り出し工程では、最終的に得られるフォトニック結晶 100 A の用途に応じて、誘電体ブロック 13 を所定形状に切り出す。

- 5 乾燥工程後に行なわれる脱バインダ処理も、第 1 の手法の箇所で詳述した通りである。脱バインダ処理を経ることで、成形体中の第 1 の誘電体セラミックスと第 2 の誘電体セラミックスは、それぞれ第 1 誘電体部 1 A、第 2 誘電体部 2 A を構成することとなる。

- 10 乾燥および脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトニック結晶 100 A として用いてもよいが、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上したフォトニック結晶 100 A を得ることができる。焼成工程も、第 1 の手法で示した条件で行なえばよい。

- 15 焼成工程において、成形体中の第 1 の誘電体セラミックスと第 2 の誘電体セラミックスは同時焼成される。よって、両材質、つまり、第 1 誘電体部 1 A を構成する材質（第 1 の誘電体セラミックス）と第 2 誘電体部 2 を構成する材質（第 2 の誘電体セラミックス）との焼成挙動を十分にマッチングさせておく必要がある。仮に、両材質との焼成挙動が相違すると、第 1 誘電体部 1 A と第 2 誘電体部 2 A との間に応力が発生し、フォトニック結晶 100 A となる焼結体にクラックが発生する場合があるからである。

- 20 なお、誘電体ペーストを塗布したシートを積層し、この積層体を焼成するといういわゆる印刷法によっても、同時焼成は可能ではある。但し、この印刷法によれば、誘電体ペーストがシート上に存在することになるため、積層方向（Z 方向）に連続したパターンが形成されたフォトニック結晶を得ることはできない。これに対し、第 2 の手法では、積層方向に連続した空隙を有する誘電体ブ  
25 ロック 13 に粉末スラリーを充填するという新規な手法を採用しているため、積層方向に連続したパターンが形成されたフォトニック結晶 100 A を得ることができる。つまり、第 2 の手法によるフォトニック結晶 100 A の製造方法によれば、印刷法よりも周期構造の自由度が高い。

また、印刷法の場合には、誘電体ペーストの厚さによっては凹凸が激しいシート同士を積層することになる。このため、シートに形成される凹凸に起因して、積層が困難（形状の保持が困難）、焼成時または焼成後に焼結体にクラックが生じやすい、シート同士が焼成後に剥離しやすい、という問題がある。そして、シートに形成される凹凸に起因する問題を最小限にしようとすると、誘電体ペーストの厚さが限定されることになり、これは最終的にはフォトリソグラフィの周期構造の自由度の低下を招くことになる。これに対し、第2の手法では、予め孔hを形成したグリーンシート11を積層することで、所定パターンの空隙を誘電体ブロック13中に形成するようにしたので、焼成時または焼成後に焼結体にクラックが生じにくく、シート同士が焼成後に剥離しやすいという問題も生じにくい。よって、第2の手法によれば、高強度かつ信頼性の高いフォトリソグラフィ100Åを得ることができる。

以上、第2の手法を詳述した。工程数が少なく、かつ複雑な工程も要しないことから、第2の手法によれば、フォトリソグラフィ100Åを簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第2の手法も、量産性に優れる。

また2種類の誘電体セラミックスを使用する第2の手法によれば、高強度かつ広帯域のバンドギャップを示すフォトリソグラフィ100Åを得ることができる。

第1の手法および第2の手法では、厚さ方向に貫通する孔hをグリーンシート11、つまりシート状部材に所定パターンで穿孔し、この穿孔されたグリーンシート11を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロック13を得るようにした。ある程度の厚さを有するブロック状部材に穿孔するよりも、薄いグリーンシート11に穿孔する方が容易であり、かつ微細な穿孔パターン（例えば直径2mm以下、さらには直径0.1~1.5mm程度）とすることができる。こうした微細な穿孔パターンが形成されたグリーンシート11を積層することで、従来法では得ることが困難であった微細なパターンを有する新規なフォトリソグラフィ100Åを得ることも可能となる。

なお、第2図および第4図ではいわゆるハニカム構造のパターンを有するフ

フォトニック結晶 100, 100Aを示したが、グリーンシート 11 の穿孔パターンを変更することで、他の構造パターンを有するフォトニック結晶 100, 100Aを得ることもできる。

- 5 また、上述したシートパンチング工程では、グリーンシート 11 に一度に複数の孔 h を形成する例を示したが、少量多品種に対応する場合には、孔のパターンに対応してパンチの動作を制御して、一孔ずつ穿孔することもできる。孔のサイズを変えるときには、径が異なる複数のパンチを用意し、コンピュータで使用するパンチを選定することができる。

- 10 このように、シートパンチングをコンピュータ制御で行うことにより、パターン変更に伴うコストや時間をほとんど要することなく、少量多品種に対応したフォトニック結晶 100, 100Aを作製することができる。

- さらにまた、第 2 の手法では第 1 の誘電体セラミックスおよび第 2 の誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶 100Aを作製する例を示したが、さらに第 3 の誘電体を使用してフォトニック結晶を作製することもできる。この  
15 ように、さらに第 3 の誘電体を使用してフォトニック結晶を作製することで、新たな周期構造を備えたフォトニック結晶を得ることができる。ここで、第 3 の誘電体は空気であってもよいし、第 3 の誘電体セラミックスであってもよい。第 3 の誘電体を第 3 の誘電体セラミックスとする場合には、例えば、誘電体ブロック 13 の一部の空隙に第 2 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填し、残りの空隙には第 3 の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを充填す  
20 ればよい。

#### <第 3 の手法>

いわゆる印刷工法を用いて誘電体ブロックを形成し、第 2 図に示した形状を備えたフォトニック結晶 100 を得る例を、第 3 の手法として示す。

- 25 第 9 図は、第 2 図に示したフォトニック結晶 100 の製造方法のフローチャートである。また、第 10 図は、第 9 図中に示した印刷工程を模式的に示す図である。

第 9 図に示すように、第 3 の手法では、誘電体セラミックスおよび樹脂等を

- 混合し誘電体ペーストを作製する誘電体ペースト作製工程、誘電体ペースト作製工程で得られた誘電体ペーストを所定パターンに印刷する印刷工程と、誘電体ペーストを乾燥させてセラミックス組成体とする乾燥工程と、印刷および乾燥を繰り返すことで得られる誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、所定形状に切り出された成形体を焼成する焼成工程を含む。

以下、第9図に示した各工程について詳述する。

#### <誘電体ペースト作製工程>

- 誘電体ペースト作製工程では、まず、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒をボールミルやらいかい機等で混合して誘電体ペーストを得る。
- 10 誘電体セラミックス粉末としては、上述した $BaO-TiO_2$ -希土類系セラミックス粉末等を用いることができる。誘電体セラミックス粉末の量は、誘電体ペーストに対して約20~60wt%とすればよい。また、誘電体セラミックス粉末の平均粒径は、上述の場合と同様に、0.1~20 $\mu m$ 程度とすればよい。
- 15 後述する積層工程で熱圧着を行う場合には、バインダ樹脂としては熱可塑性であり、かつ高強度のものを用いる。バインダ樹脂としてはアクリル系樹脂、ブチラール系樹脂、エチルセルロース系樹脂等を用いることができる。バインダ樹脂の量は誘電体セラミックス粉末に対して約4~10wt%とすればよい。
- 20 また、分散媒としては、ブチルカルビトール、ブチルカルビトールアセテート、ターピネオール等の各種有機溶剤を用いることができる。これらを分散媒として用いるのは、上述したバインダ樹脂を溶解でき、かつ比較的、低沸点であるからである。
- 分散媒の種類や量を適宜選択することで、誘電体ペーストの粘度を調整することができる。例えば、ブチルカルビトールは粘度が低く、一方、ターピネオールは粘度が高い。よって、両者を適当な比率で混合して分散媒とすることで、
- 25 誘電体ペーストの粘度を印刷工法に適した粘度とすることができる。
- 誘電体ペーストの粘度が低すぎると、ペーストだれが起き、続く印刷工程で所望の印刷パターンを形成することが困難となる。また、粘度が高すぎると、



- 誘電体ペーストのスクリーン離れが悪くなり、所望のパターンの印刷が困難となる。よって、誘電体ペーストの粘度は注意深く調整する必要がある。なお、誘電体ペーストの粘度は、印刷パターンや印刷工程で用いる印刷工法等も考慮して、適切な範囲に調整する。印刷工法としてスクリーン印刷工法を採用する場合
- 5 場合には、誘電体ペーストの粘度は500～50000cp程度とすればよい。
- なお、必要に応じて、分散剤をさらに添加して誘電体ペーストを作製することができる。例えばオレフィンマレイン酸コポリマーやオレイン酸を分散剤として用いることができ、その添加量は誘電体セラミックス粉末に対し、0.1～5wt%程度とすればよい。なお、誘電体ペーストに対し、さらに可塑剤を
- 10 添加してもよい。可塑剤の添加量は、誘電体セラミックス粉末に対し、0.1～5wt%程度とすればよい。

#### <印刷工程、乾燥工程>

- 印刷工程では、スクリーン印刷工法等を用いて誘電体ペーストを所定の印刷パターンで印刷し、続く乾燥工程では誘電体ペーストを乾燥させてセラミックス組成体とする。
- 15

第10図は、印刷工程を模式的に示す断面図である。

- まず、第10図(a)に示すように、1層目を構成することとなる誘電体ペーストをフィルム(例えばPETフィルム)F上に所望の印刷パターンで印刷する。ここで、印刷パターンは、最終的にどのような周期構造を有するフォトリソニック結晶100を得たいか、に応じて決定する。例えば、最終的に第2図に
- 20 示したようなハニカム構造のフォトリソニック結晶100を得たい場合には、第7図に示したような印刷パターンを採用する。第7図に示した印刷パターンを採用した場合には、厚さ方向に貫通した孔hが六角格子状に規則的に形成されたセラミックス組成体21を形成する。印刷後、印刷された誘電体ペーストは、
- 25 加熱乾燥または自然乾燥される。

続いて、第10図(b)に示すように、1層目を構成するセラミックス組成体21の上に、2層目を構成することとなる誘電体ペーストを1層目と同じ印刷パターンで印刷し、1層目と同様に乾燥させる。1層目を構成するセラミッ

クス組成体 2 1 には孔 h が所望の 2 次元周期パターンで形成されている。この孔 h を除く部分に、2 層目を構成することとなる誘電体ペーストが重ねて印刷される。これにより、厚さ方向に貫通した孔 h が所定パターンで形成された新たなセラミックス組成体 2 1 が、1 層目を構成するセラミックス組成体 2 1 の

5 上に積層される。

同様の手順で、所望の厚さを有する積層体を得られるまで、印刷および乾燥を繰り返す。これにより、第 10 図 (c) に示すような、セラミックス組成体 2 1 の積層体、つまり、所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロック 1 3 A が得られる。なお、原則、印刷工法ではプレスする必要はないが、誘電体ブロック 1 3 A に対して熱プレス等を行ってもよい。熱プレスされた状態の誘電体ブロック 1 3 A を第 10 図 (d) に示しておく。

また、印刷工法はスクリーン印刷工法に限定されるものではなく、セラミックス組成体 2 1 の厚さに応じてグラビア印刷、凸版印刷、オフセット印刷等の公知の印刷工法を適宜選択することができる。

15 <切り出し工程>

印刷工程後、基体としてのフィルム F は誘電体ブロック 1 3 A から剥離され、続く切り出し工程に進む。切り出し工程では、最終的に得られるフォトニック結晶 1 0 0 の用途に応じて、誘電体ブロック 1 3 A を所定形状に切り出す（なお、所定形状に切り出された後の誘電体ブロック 1 3 A を、適宜「成形体」と

20 称する）。

<脱バインダ処理>

切り出し工程後に得られる成形体には、多くの樹脂成分が含有されているため、焼成工程に先立ち、予め脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理は、第 1 の手法の箇所で示したのと同様の条件で行えばよい。

25 脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトニック結晶 1 0 0 として用いてもよいが、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上したフォトニック結晶 1 0 0 を得ることができる。焼成工程も、第 1 の手法の箇所で示したのと同様の条件で行えばよい。

以上、第3の手法を詳述した。印刷工法を採用した第3の手法によっても、微細な孔hがその表裏面を貫通したフォトリソグラフィ結晶100を容易に得ることができる。

5      なお、ハニカム構造の周期構造を備えたフォトリソグラフィ結晶100を得る例を示したが、印刷パターンを所望の周期構造に合わせて適宜選択することで、他の2次元周期構造のパターンを備えたフォトリソグラフィ結晶100を容易に得ることができる。また、印刷工法で作製したセラミックス組成体21を、印刷工法で積層する例を示したが、印刷工法で作製したセラミックス組成体21を第1の手法で示したシート積層工程のような要領で積層してもよい。

10      さらに、第10図に示した誘電体ブロック13Aに、第2の誘電体セラミックスを含む粉末スラリーを第2の手法と同様の手順で充填することにより、第4図に示したフォトリソグラフィ結晶100Aを得ることもできる。

#### <第4の手法>

次に、第4の手法について説明する。

15      第4の手法では、第1および第2の誘電体セラミックスを含むセラミックス複合体を作製し、このセラミックス複合体を積層して誘電体ブロック（積層体）を形成し、フォトリソグラフィ結晶100Aを作製する。セラミックス複合体では、第1の誘電体セラミックスと第2の誘電体セラミックスが同一面内に周期的に配置されている。

20      第11図は、第4の手法によりフォトリソグラフィ結晶100Aを作製する場合のフローチャートである。第12図は、第11図中に示したセラミックス複合体作製工程を模式的に示す断面図である。第13図は、第11図中に示した積層工程を模式的に示す図である。

25      第11図に示すように、第4の手法では、第1および第2の誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒等を混合して第1および第2の誘電体ペーストを作製する誘電体ペースト作製工程、第1および第2の誘電体ペーストを用いて第1および第2の誘電体セラミックス粉末を含むセラミックス複合体を作製するセラミックス複合体作製工程、セラミックス複合体を積層し積層体

としての誘電体ブロックを得る積層工程、誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、切り出された成形体を焼成する焼成工程を経ることにより、フォトリソグラフィ結晶100Åを作製する。

以下、第11図に示した各工程について詳述する。

#### 5 <誘電体ペースト作製工程>

誘電体ペースト作製工程では第1の誘電体セラミックス粉末を含む第1の誘電体ペースト（第1のセラミックス組成物）、第2の誘電体セラミックス粉末を含む第2の誘電体ペースト（第2のセラミックス組成物）をそれぞれ作製する。各ペーストは、第3の手法の箇所で述べた手順で作製すればよい。

- 10    なお、第1の誘電体セラミックス粉末と第2の誘電体セラミックス粉末とを区別する必要がある場合を除き、両者を総称して「誘電体セラミックス粉末」という。

- 15    第4の手法では、後述する積層工程で熱圧着を行うため、バインダ樹脂としては熱可塑性であり、かつ高強度のものをを用いる。バインダ樹脂および分散媒は、第3の手法の箇所で示したものをを用いることができる。

- 20    第4の手法では、可塑剤や分散剤をさらに添加することが望ましい。可塑剤は、使用するバインダ樹脂の種類に応じて選択する。上述したアクリル系樹脂等をバインダ樹脂とする場合には、例えばフタル酸系の可塑剤を使用することができる。可塑剤を添加する場合には、その添加量を誘電体セラミックス粉末に対し、0.1～5wt%程度とすればよい。

分散剤についても、第3の手法の箇所で示したものをを用いることができ、その添加量は第1の誘電体セラミックスに対し、0.1～5wt%程度とすればよい。

- 25    分散媒の種類や量を適宜選択することで、誘電体ペーストの粘度を調整することができる。例えば、粘度が低いブチルカルビトールと、粘度が高いターピネオールとを適当な比率で混合して分散媒とすることで、誘電体ペーストの粘度を印刷工法に適した粘度とすることができる。また、バインダ樹脂の種類や量を適宜選択することで、誘電体ペーストの粘度を調整することもできる。

- 誘電体ペーストの粘度が低すぎると、印刷だれが起き、印刷工法を用いたセラミックス複合体作製工程で所望の印刷パターンを形成することが困難となる。また、粘度が高すぎると、薄く印刷することができず、得られるセラミックス複合体の厚さが厚くなってしまう。仮に、こうした厚さの厚いセラミックス複合体を積層したとすると、厚さ方向のステップ数が少なくなるため、最終的に得られるフォトリソ結晶の厚さ方向の断面形状がいびつになりやすい。よって、誘電体ペーストの粘度は注意深く調整する必要がある。なお、誘電体ペーストの粘度は、印刷パターンや採用する印刷工法等も考慮して、適切な範囲に調整する。印刷工法としてスクリーン印刷工法を採用する場合には、誘電体ペーストの粘度は  $2 \text{ Pa} \cdot \text{s} \sim 50 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  程度とすればよい。

#### <セラミックス複合体作製工程>

- 続くセラミックス複合体作製工程では、第1の誘電体ペーストおよび第2の誘電体ペーストをそれぞれ印刷することで、第1および第2の誘電体セラミックスを含むセラミックス複合体を作製する。印刷は、第1の誘電体ペーストが第1誘電体部1Aに対応する部位に、第2の誘電体ペーストが第2誘電体部2Aに対応する部位に、それぞれ配設されるように行う。

第12図は、セラミックス複合体作製工程を模式的に示す断面図である。

- まず、第12図(a)に示すように、1層目を構成することとなる第1の誘電体ペーストをフィルム（例えばPETフィルム）F上に所望の印刷パターンで印刷する。この印刷は、例えばスクリーン印刷工法を用いて行うことができる。印刷後、印刷された第1の誘電体ペーストは、加熱乾燥または自然乾燥される。

- ここで、印刷パターンは、最終的にどのような周期構造を有するフォトリソ結晶100Aを得たいか、に応じて決定する。例えば、最終的に第4図に示したようなハニカム構造のフォトリソ結晶100Aを得たい場合には、第7図に示したような印刷パターンを採用する。第7図に示した印刷パターンを採用した場合には、厚さ方向に貫通した孔hが六角格子状に規則的に形成された第1のセラミックス組成物11Aが得られる。

続いて、第 1 2 図 (b) に示すように、1 層目の印刷パターン of 反転パターンで、第 2 の誘電体ペーストを印刷する。印刷後、印刷された第 2 の誘電体ペーストは、加熱乾燥または自然乾燥される。

ここで、第 2 の誘電体ペーストを反転パターンで印刷するのは、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A に形成された孔 h を、第 2 の誘電体ペースト、すなわち、第 2 のセラミックス組成物 1 2 A で充填し、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A と第 2 のセラミックス組成物 1 2 A とを同一面内に配置させるためである。第 1 のセラミックス組成物 1 1 A および第 2 のセラミックス組成物 1 2 A とで構成されるセラミックス複合体 C の表面が平滑になるよう、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A の厚さおよび第 1 のセラミックス組成物 1 1 A の孔 h のサイズに基づき、第 2 の誘電体ペーストの塗布量を制御する必要がある。

基体としてのフィルム F をセラミックス複合体 C から剥離した状態を、第 1 3 図 (a) に示す。セラミックス複合体 C は後述する積層工程で順次積層されることになるが、セラミックス複合体 C の厚さが薄すぎると、セラミックス複合体 C の強度が低く、ハンドリングが難しい。よって、積層工程におけるハンドリングのしやすさを考慮して、セラミックス複合体 C の厚さは  $1 \sim 800 \mu\text{m}$ 、より望ましくは  $10 \sim 500 \mu\text{m}$ 、さらに望ましくは  $20 \sim 200 \mu\text{m}$  の範囲内とする。

#### < 積層工程 >

セラミックス複合体作製工程で所望の厚さを備えたセラミックス複合体 C を所定枚数作製した後、積層工程に進む。なお、積層工程に先立ち、予めフィルム F をセラミックス複合体 C から剥離しておく。

積層工程では、第 1 3 図 (b) に示すように、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A と第 2 のセラミックス組成物 1 2 A とがそれぞれ所定の部位に配置されたセラミックス複合体 C を積層し、熱圧着する。この熱圧着は、セラミックス複合体 C を 1 枚積層する毎に行ってもよいし、複数枚積層してから行ってもよい。セラミックス複合体 C の積層および熱圧着により、第 1 3 図 (c) に示すような誘電体ブロック 1 3 B が最終的に得られる。つまり、熱圧着はセラミックス

複合体Cを一体化するために行う。

熱圧着の際の加熱温度は、第1の誘電体ペーストおよび第2の誘電体ペーストを作製する際に用いたバインダ樹脂成分に依存する。例えば、ペースト作製に用いたバインダ樹脂がアクリル樹脂である場合には、加熱温度を70～90℃に設定すればよい。熱圧着は、セラミックス複合体Cがそれぞれ積層ずれをおこさずにきちんと接着されることが重要なので、大きな圧力を付与する必要はない。圧力は、セラミックス複合体Cの厚さに応じて適宜設定すればよいが、20～80 kgf/cm<sup>2</sup>程度に設定すればよい。

セラミックス複合体Cの積層体である誘電体ブロック13Bは、所定の周期構造を有する。第13図(c)の例では、円柱状の第2誘電体部2Aが、誘電体ブロック13Bの表裏面を貫通するようにして多数配置されて、ハニカムパターンの2次元周期構造を形成している。なお、第13図(c)では、セラミックス複合体Cの積層数が6枚の例を示したが、積層数は特に限定されるものではなく、最終的に得たいフォトニック結晶100Aのサイズ等に応じて適宜決定する。

得られた誘電体ブロック13Bの密度を増加させるために、切り出し工程に先立って熱プレスを行ってもよい。熱プレスの条件も、セラミックス複合体Cを作製する際に使用したバインダ樹脂等に依存するが、例えば圧力は500～2000 kgf/cm<sup>2</sup>程度に設定すればよい。また、誘電体ペースト作製に用いたバインダ樹脂がアクリル樹脂である場合には、加熱温度を70～90℃に設定すればよい。

但し、第1のセラミックス組成物11Aと第2のセラミックス組成物12Aの弾性挙動が相違するような場合には、熱プレスにより、両材質間に応力が発生して成形体にクラックが発生する場合がある。よって、熱プレスを行う際には、第1のセラミックス組成物11Aと第2のセラミックス組成物12Aとが同等の弾性挙動をもつように、材料の選択等を行う必要がある。例えば、第1の誘電体ペースト中のバインダ樹脂と同じ樹脂を用いて第2の誘電体ペーストを作製することで、第1のセラミックス組成物11Aと第2のセラミックス組

成物 1 2 A との弾性挙動を合わせることができる。

- 切り出し工程、脱バインダ処理は第 1 の手法と同様の条件で行えばよい。脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトリソグラフィ結晶 1 0 0 A として用いてもよい。第 1 のセラミックス組成物 1 1 A を第 1 誘電体部 1 A に対応する部位に、第 2 のセラミックス組成物 1 2 A を第 2 誘電体部 2 A に対応する部位に、それぞれ配設してセラミックス複合体 C を作製し、このセラミックス複合体 C を厚さ方向に積層することで、誘電体ブロック 1 3 B を作製した。よって、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A に相当する部分が第 1 誘電体部 1 A となり、第 2 のセラミックス組成物 1 2 A に相当する部分の第 2 誘電体部 2 A となる。

焼成工程は必須の工程ではないが、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上したフォトリソグラフィ結晶 1 0 0 A を得ることができる。焼成工程を実施する場合には、焼成条件は第 1 の手法と同様とすればよい。

- 以上、第 4 の手法について詳述した。複雑な工程を要しないことから、第 4 の手法によれば、フォトリソグラフィ結晶 1 0 0 A を簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第 4 の手法におけるフォトリソグラフィ結晶 1 0 0 A の製造方法も量産性に優れる。

- なお、セラミックス複合体 C を積層する際に、接着層を介在させて、接着強度を増加させてもよい。この場合には、第 1 3 図に示した積層工程で、表面または裏面に薄い接着層を印刷したセラミックス複合体 C を順次積層させればよい。

- また、上述した積層工程では、フィルム F からセラミックス複合体 C を剥離して、セラミックス複合体 C を順次積層する例を示したが、セラミックス複合体 C 同士を熱圧着した後、フィルム F を剥離するようにしてもよい。例えば、第 1 2 図 (b) に示したセラミックス複合体 C の上に、フィルム F が付着された状態のセラミックス複合体 C を、セラミックス複合体 C 同士が対向するように積層し、熱圧着した後に、フィルム F を剥離するようにしてもよい。この際、セラミックス複合体 C 同士の間に接着層を介在させて、一方のセラミックス複



合体Cが他方のセラミックス複合体C上に転写されるようにしてもよい。

#### <第5の手法>

第4の手法では、複数のセラミックス複合体Cを予め作製した後、このセラミックス複合体Cを積層して誘電体ブロック13Bを形成し、第4図に示した形状を備えたフォトニック結晶100Aを得る例を示した。第5の手法では、第1のセラミックス組成物11Aを配設した後に、第2のセラミックス組成物12Aを配設することによりセラミックス複合体Cを作製し、このセラミックス複合体C上に、第1のセラミックス組成物11Aを配設した後に第2のセラミックス組成物12Aを配設することを繰り返すことによりセラミックス複合体Cを積層する。より具体的には、第1の誘電体セラミックスを含む第1の誘電体ペーストと、第2の誘電体セラミックスを含む第2の誘電体ペーストとを交互に印刷することで、セラミックス複合体Cの積層体としての誘電体ブロック13Bを形成し、第4図に示した形状を備えたフォトニック結晶100Aを得る例を第5の手法として示す。

第14図は、第5の手法によりフォトニック結晶100Aを作製する場合のフローチャートである。また、第15図は、第14図中に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

第14図に示すように、第5の手法では、第1および第2の誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒等を混合し第1および第2の誘電体ペーストを作製する誘電体ペースト作製工程、誘電体ペースト作製工程で得られた第1の誘電体ペーストを所定パターンに印刷する第1の印刷工程と、誘電体ペースト作製工程で得られた第2の誘電体ペーストを第1の印刷工程における印刷パターンと反転パターンで印刷する第2の印刷工程と、第1の印刷工程および第2の印刷工程を繰り返すことで得られる誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、所定形状に切り出された成形体を焼成する焼成工程を経ることによりフォトニック結晶100Aを作製する。

以下、第14図に示した各工程について詳述する。

#### <誘電体ペースト作製工程>

可塑剤を添加する必要がない点、バインダ樹脂として以下のものを用いる以外は、基本的に第3および第4の手法と同様の手順で第1の誘電体ペーストおよび第2の誘電体ペーストを作製する。

第5の手法では、第1および第2の誘電体ペーストを交互に印刷してセラミックス複合体Cの積層体としての誘電体ブロックを得るため、第4の手法で行った熱圧着は不要となる。よって、熱可塑性であることはバインダ樹脂の選択基準として必須の要件ではなく、高強度であり、かつ粘度調整および脱バインダ処理がしやすいものを、第5の手法におけるバインダ樹脂として選択する。バインダ樹脂としては、エチルセルロース系樹脂、ブチラール系樹脂等を用いることができる。第5の手法でも、バインダ樹脂の量は誘電体セラミックス粉末に対して約4～10wt%とすればよい。

また、分散媒としては、第3および第4の手法と同様に、ターピネオール、ブチルカルビトール等の各種有機溶剤を用いることができる。分散媒の種類や量を適宜選択することで、誘電体ペーストの粘度を調整することができる。誘電体ペーストの粘度が低すぎると、印刷だれが起き、続く印刷工程で所望の印刷パターンを形成することが困難となる。また、粘度が高すぎると、レベリング不良が起きやすい。よって、誘電体ペーストの粘度は、得ようとするセラミックス複合体Cの厚さや印刷パターン、印刷工程で用いる印刷工法等も考慮して、適切な範囲に調整する。

#### 20 <誘電体ブロック作製工程>

誘電体ブロック作製工程は、誘電体ペースト作製工程で得られた第1の誘電体ペーストを所定パターンに印刷する第1の印刷工程と、誘電体ペースト作製工程で得られた第2の誘電体ペーストを第1の印刷工程における印刷パターンと反転パターンで印刷する第2の印刷工程とを含む。

25 第15図は、誘電体ブロック作製工程を模式的に示す断面図である。

(第1の印刷工程)

まず、第15図(a)に示すように、1層目を構成することとなる第1の誘電体ペーストをフィルム(例えばPETフィルム)F上に所望の印刷パターン

で印刷する。ここで、印刷パターンは、最終的にどのような周期構造を有するフォトニック結晶 100A を得たいか、に応じて決定する。印刷された第 1 の誘電体ペーストを加熱乾燥または自然乾燥することで、厚さ方向に貫通した孔 h が規則的に形成された第 1 のセラミックス組成物 11A が得られる。

5 (第 2 の印刷工程)

- 続いて、第 15 図 (b) に示すように、第 1 の印刷工程における印刷パターンの反転パターンで、第 2 の誘電体ペーストを印刷する。印刷後、印刷された第 2 の誘電体ペーストは、加熱乾燥または自然乾燥され、第 2 のセラミックス組成物 12A となる。第 2 のセラミックス組成物 12A の厚さが、第 1 のセラミックス組成物 11A の厚さと等しくなるように、第 2 の印刷工程では、第 1 のセラミックス組成物 11A の厚さおよび第 1 のセラミックス組成物 11A の孔 h のサイズに基づき、第 2 の誘電体ペーストの塗布量を制御する。

第 1 の印刷工程および第 2 の印刷工程を経ることで、第 15 図 (b) に示したようなセラミックス複合体 C がフィルム F 上に形成される。

- 15 続いて、第 15 図 (c) に示すように、セラミックス複合体 C の上に、2 層目を構成することとなる第 1 の誘電体ペーストが印刷され、乾燥される。第 1 の誘電体ペーストを乾燥することで、セラミックス複合体 C の上に、厚さ方向に貫通した孔 h が規則的に形成された第 1 のセラミックス組成物 11A が新たに配設される。次に、第 15 図 (d) に示すように、第 1 の印刷工程における印刷パターンの反転パターンで、第 2 の誘電体ペーストを印刷する。印刷後、印刷された第 2 の誘電体ペーストは、加熱乾燥または自然乾燥され、第 2 のセラミックス組成物 12A となる。

- 同様の手順で、所望の厚さを有する積層体を得られるまで、印刷および乾燥を繰り返す。これにより、第 15 図 (e) に示すような、誘電体ブロック 13 B、つまり、セラミックス複合体 C の積層体を得られる。積層体中のセラミックス複合体 C において、第 1 誘電体部 1A に対応する部位に第 1 のセラミックス組成物 11A が、第 2 誘電体部 2A に対応する部位に第 2 のセラミックス組成物 12A がそれぞれ配設されている。なお、原則、第 5 の手法ではプレスす

る必要はないが、誘電体ブロック 1 3 B に対して熱プレス等を行ってもよい。熱プレスされた状態の誘電体ブロック 1 3 B を第 1 5 図 (f) に示しておく。

- また、印刷は、第 1 のセラミックス組成物 1 1 A の厚さに応じてスクリーン印刷、グラビア印刷、凸版印刷、オフセット印刷等の公知の印刷工法を適宜選択することができる。

<切り出し工程、脱バインダ処理、焼成工程>

- 印刷工程後、基体としてのフィルム F は誘電体ブロック 1 3 B から剥離され、続く切り出し工程に進む。切り出し工程、脱バインダ処理、焼成工程は、第 1 の手法で示したのと同様の条件で行えばよい。なお、第 1 ～第 4 の手法と同様に、脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトリソグラフィ 1 0 0 A として用いてもよい。

以上、第 5 の手法を詳述した。工程数が少なく、かつ複雑な工程も要しないことから、第 5 の手法によれば、フォトリソグラフィ 1 0 0 A を簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第 5 の手法も、量産性に優れる。

- 15    なお、印刷工法で作製したセラミックス複合体 C を、印刷工法で積層する例を示したが、印刷工法で作製したセラミックス複合体 C を第 4 の手法で示した積層工程のような要領で積層してもよい。

- 第 4 の手法および第 5 の手法によれば、第 2 誘電体部 2 A を直径 2 mm 以下の円柱状に形成することができる。これには、第 1 の誘電体セラミックスを含む第 1 の誘電体ペーストを直径 2 mm 以下の複数の孔を含むパターンに印刷するとともに、この反転パターンで第 2 の誘電体セラミックスを含む第 2 の誘電体ペーストを印刷して得られたセラミックス複合体を積層してフォトリソグラフィ 1 0 0 A を作製すればよい。円柱状の第 2 誘電体部 2 A は、ブロック状の第 1 誘電体部 1 A の表裏面を貫通するように所定間隔毎に配置される。

- 25    なお、フォトリソグラフィ 1 0 0 A に求められる特性に応じて、第 2 誘電体部 2 A の配置、サイズ、形状等を適宜、設定することができる。よって、第 2 誘電体部 2 A のサイズを直径 2 mm を超えるものとすることもできるし、形状を円柱状ではなく直方体状とすることも、もちろん可能である。

なお、第4の手法または第5の手法において、第2の誘電体ペーストを印刷する工程において、第1のセラミックス組成物11Aに形成された複数の孔hのうち、一部の孔hには第2の誘電体セラミックス粉末を含む第2の誘電体ペーストを印刷し、残りの孔hには第3の誘電体セラミックス粉末を含む第3の誘電体ペーストを印刷することもできる。このように、さらに第3の誘電体を使用してフォトリソグラフィ結晶を作製することで、新たな周期構造を備えたフォトリソグラフィ結晶を得ることができる。

また、第1のセラミックス組成物11Aに形成された複数の孔hのうち、一部の孔hには第2の誘電体セラミックス粉末を含む第2の誘電体ペーストを印刷し、残りの孔hには第3の誘電体としての空気を存在させてもよい。

また、第4および第5の手法では、同一の印刷パターンで作製したシート状のセラミックス複合体Cが積層されることで、2次元周期構造を備えたフォトリソグラフィ結晶100Aを得る例を示したが、印刷パターンを各シート毎に適宜変更させることももちろん可能である。例えば、3次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶を作製する場合には、印刷パターンが異なるシートを複数積層するようにすればよい。この場合はシートの厚さをできるだけ薄くすることで、3次元周期構造のパターンを厚さ方向に滑らかに変化するものとすることができる。本発明のフォトリソグラフィ結晶の製造方法によれば、印刷パターンの形状を適宜選択することで、所望の周期構造を備えたフォトリソグラフィ結晶100Aを得ることができるため、周期構造の自由度も高い。

#### <第6の手法>

上述した第4および第5の手法では、第1のセラミックス組成物11Aの配設と第2のセラミックス組成物12Aの配設を異なる時期に行う例を示したが、第1のセラミックス組成物11Aの配設と第2のセラミックス組成物12Aの配設を実質的に同時期に行うようにしてもよい。例えば、第16図に示すフローチャートに基づき、第1の誘電体ペーストと第2の誘電体ペーストとを同時に印刷するという工程を繰り返すことで、セラミックス複合体Cの作製および積層を行うこともできる。なお、第16図に示した印刷工程以外は、第5の手

法と同様に行えばよい。

- 具体的には、第 17 図 (a) に示すように、1 層目を構成することとなる第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストをフィルム (例えば PET フィルム) F 上に所望の印刷パターンで印刷、すなわち実質的に同時期に配設する。印刷された第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストを乾燥させた後、第 17 図 (b) に示すように、1 層目のセラミックス複合体 C の上に、第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストを所望の印刷パターンで同時に印刷する。印刷された第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストを乾燥することで、2 層目のセラミックス複合体 C が得られる。
- 10 同様の手順で、所望の厚さを有する積層体を得られるまで、n 層目の誘電体層の上に、(n + 1) 層目を構成することとなる第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストを印刷し、乾燥するという工程を繰り返す。これにより、第 17 図 (c) に示すような、誘電体ブロック 13 B、つまり、セラミックス複合体 C の積層体を得るようにしてもよい。この形態は、セラミックス複合体
- 15 C の作製と積層とがほぼ同時に進行するということができる。

- ここで、所定領域に対して第 1 および第 2 の誘電体ペーストを印刷する場合には、印刷開始から印刷終了までには所定の時間が経過するから、印刷開始時と印刷終了時とでは厳密な意味では第 1 のセラミックス組成物 11 A および第 2 のセラミックス組成物 12 A の配設は同時にはならない。そこで、このような形態を包含する概念として「実質的に同時期」という表現を用いている。
- 20

なお、実質的に同時期に得られたセラミックス複合体 C を、第 4 の手法と同様の手順で積層するようにしてもよい。

#### <第 7 の手法>

- 例えば、第 18 図 (a) に示すような、孔 h が所定パターンで形成された第 1 のセラミックス組成物 11 A を得る。次いで、孔 h に第 2 のセラミックス組成物 12 A を充填してセラミックス複合体 C を得た後、第 18 図 (b) に示すように、第 2 のセラミックス組成物 12 A を印刷、つまり配設する。そして、第 18 図 (c) に示すように、第 2 のセラミックス組成物 12 A の周囲を覆う
- 25

ように、第1のセラミックス組成物11Aを印刷、つまり配設するようにしてもよい。もしくは、第18図(a)に示した第1のセラミックス組成物11Aを得た後に、第1のセラミックス組成物11Aの厚さよりも第2のセラミックス組成物12Aの厚さが厚くなるように、第1のセラミックス組成物11Aの孔h内に第2のセラミックス組成物12Aを充填し、さらに第18図(c)に示したように、第2のセラミックス組成物12Aの周囲を覆うように、第1のセラミックス組成物11Aを配設するようにしてもよい。

(実施例)

次に、具体的な実施例を挙げて本発明をさらに詳細に説明する。

10 [実施例1]

第8図のフローチャートに基づき、穿孔シートを積層後、誘電体シートを充填してフォトニック結晶100Aを作製した。

第1の誘電体セラミックスとして、平均粒径が $0.7\mu\text{m}$ の $\text{BaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ 系粉末（比誘電率：6.4）を準備した。また、第2の誘電体セラミックスとして、平均粒径が $1.0\mu\text{m}$ の $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}_2-\text{CuO}$ 系粉末（比誘電率：75.4）を準備した。

はじめに、第1の誘電体セラミックス、分散剤、樹脂および分散媒とをボールミルを用いて混合し、スラリー化した。そして、ドクターブレード法により、スラリーをシート化し、 $82\text{mm}\times 82\text{mm}\times 120\mu\text{m}$ のグリーンシートを作製した。なお、第1の誘電体セラミックス、樹脂および分散媒の比率は、vol%で23:11:66とした。分散剤、樹脂および分散媒の種類および分散剤の添加量は以下の通りとした。

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フローレンG-700）

25 分散剤の添加量：第1の誘電体セラミックスに対して、1.5wt%

樹脂：アクリル樹脂

分散媒：トルエン

また、第2の誘電体セラミックス、分散剤および分散媒とを混合し、粉末ス

ラリーを作製した。この際、第2の誘電体セラミックスおよび分散媒の比率は、  
v o 1 %で50 : 50とした。分散剤および分散媒の種類および分散剤の添加  
量は以下の通りとした。また、混合はらいかい機を用いて、2時間行った。な  
お、粉末スラリー作製の際に、樹脂を添加しなかったのは、樹脂の添加により  
5 粉末スラリーの粘度が高くなりすぎるのを防止するためである。

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フロ  
ーレンG-700）

分散剤の添加量：第2の誘電体セラミックスに対して、1 w t %

分散媒：ターピネオール50 v o 1 %、ブチルカルビトール50 v o 1 %

#### 10 の混合溶液

次いで、第7図に示したパターンが形成されたパンチを用いて、グリーンシ  
ートにハニカム構造の孔を形成した。なお、孔の直径は1 mmとした。

ハニカム構造の孔が形成されたグリーンシートを60枚積層して、所定の空  
隙パターンが形成された誘電体ブロックを得た。なお、熱圧着はグリーンシー

15 トを1枚積層する毎に行った。熱圧着の条件は以下の通りである。

圧力：45 k g f / c m<sup>2</sup>

加熱温度：85℃

保持時間：1秒

こうして得られた誘電体ブロックを吸引板に載置し、第2の誘電体セラミッ  
クスを含む粉末スラリーを誘電体ブロックの上部に十分にせた。そして、吸引  
20 板の下からポンプで吸引し、誘電体ブロックの空隙内に、粉末スラリーを充填  
した。粉末スラリーが充填された誘電体ブロックを自然乾燥した後、以下の条  
件で脱バインダ処理を行い、その後、焼成して試料1を得た。得られた試料1  
の写真を第19図に示す。なお、この試料1のサイズは、10.6 mm×4.  
25 3 mm×1.8 mmである。

第19図に示すように、誘電体ブロックの空隙内には第2の誘電体セラミッ  
クスが密に充填されており、ボイドやクラックは観察されなかった。

<脱バインダ処理条件>



雰囲気：空気

昇温速度：60°C/h

保持温度：500°C

保持時間：0

5 <焼成条件>

雰囲気：空気

昇温速度：600°C/h

保持温度：910°C

保持時間：1 h

- 10 得られた試料を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ (Agilent Technologies 社製 HP-8510C) にて反射および透過特性を測定した。その結果を第20図に示す。なお、透過特性を測定した試料における、伝播方向の周期数は4.5周期である。

- 15 第20図に示すように、Kバンドに属する21.0~26.5 GHzにて、30 dB以上の減衰が確認され、バンドギャップが生成していることが明らかとなった。

[実施例2]

第11図のフローチャートに基づきフォトニック結晶100Aを作製した。

- 20 第1の誘電体セラミックス粉末、分散媒、バインダ樹脂および分散剤とをボールミルを用いて混合し、第1の誘電体ペーストを作製した。この際、第1の誘電体セラミックス粉末および分散媒の比率は、45:55 (wt%)とした。また、バインダ樹脂は第1の誘電体セラミックス粉末に対して5 wt%添加し、分散剤は第1の誘電体セラミックス粉末に対して1 wt%添加した。分散剤、バインダ樹脂および分散媒の種類は以下の通りとした。なお、実施例2で使用した第1および第2の誘電体セラミックス粉末の種類は、実施例1で使用した
- 25 ものと同じである。

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー (商品名：共栄 (株) 製 フローレンG-700)

バインダ樹脂：エチルセルロース

分散媒：ターピネオール 50 vol %、ブチルカルビトール 50 vol %

の混合溶液

- 次に、第2の誘電体セラミックス粉末、分散媒、バインダ樹脂および分散剤  
5 とをボールミルを用いて混合し、第2の誘電体ペーストを作製した。第2の誘  
電体セラミックス粉末および分散媒の比率は、第1の誘電体ペーストと同様に  
45 : 55 (wt %) とした。また、バインダ樹脂は第2の誘電体セラミック  
ス粉末に対して 5 wt % 添加し、分散剤は第2の誘電体セラミックス粉末に対  
して 1 wt % 添加した。分散剤、バインダ樹脂および分散媒の種類も、第1の  
10 誘電体ペーストと同様である。なお、第1の誘電体ペーストおよび第2の誘電  
体ペーストの粘度は、いずれも 15 Pa · s である。

次いで、スクリーン印刷工法により、第1の誘電体ペーストをPETフィル  
ム上に印刷した。第1の誘電体ペーストの印刷は、第7図に示したパターンで  
行い、貫通孔が所定パターンで配置された第1のセラミックス組成物を得た。

- 15 なお、貫通孔の直径が 1 mm となるように、印刷の制御を行った。

第1のセラミックス組成物の貫通孔に、スクリーン印刷工法により、第2の  
誘電体ペーストを充填した。第1のセラミックス組成物の厚さおよび貫通孔の  
サイズを考慮して第2の誘電体ペーストの充填量を制御することで、最終的に  
表面が平滑なセラミックス複合体を得た。

- 20 こうして得られたセラミックス複合体を 120 枚積層し、円柱状の第2の誘  
電体セラミックスがハニカムパターンで配置された誘電体ブロックを得た。な  
お、熱圧着はセラミックス複合体を 1 枚積層する毎に行った。熱圧着の条件は  
実施例 1 と同様である。

- 25 続いて、誘電体ブロックに対して脱バインダ処理を行い、その後、焼成して  
試料 2 を得た。試料 2 のサイズは、10.6 mm × 4.3 mm × 18 mm であ  
る。なお、脱バインダ処理および焼成条件は実験例 1 と同様である。

試料 2 についても試料 1 と同様に、第2の誘電体から構成される円柱と、こ  
の円柱を覆う第1の誘電体との界面には、ボイドやクラックは観察されなかつ

た。

試料 2 を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ (Agilent Technologies 社製 HP-8510C) にて反射および透過特性を測定した。その結果、K バンドに属する 20 ~ 24 GHz にて、25 dB 以上の減衰が確認され、バンドギャッ

5 プが生成していることが明らかとなった。

### 〔実施例 3〕

第 14 図のフローチャートに基づき、フォトニック結晶 100 A を作製した。

実施例 2 と同様の手順で第 1 の誘電体ペーストと第 2 の誘電体ペーストを作製した。但し、第 1 の誘電体ペーストにおいて、第 1 の誘電体セラミックス粉末および分散媒の比率は 50 : 50 (wt %) とした。また、第 2 の誘電体ペーストにおいても、第 2 の誘電体セラミックス粉末および分散媒の比率は 50 : 50 (wt %) とした。第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペーストの粘度はいずれも 20 Pa · s である。なお、第 1 の誘電体ペーストおよび第 2 の誘電体ペースト中のバインダ樹脂および分散剤の添加量は、実施例 2 と同様である。

次いで、スクリーン印刷工法により、第 1 の誘電体ペーストを PET フィルム上に印刷した。第 1 の誘電体ペーストの印刷は、第 7 図に示したパターンで行い、貫通孔が所定パターンで配置された第 1 のセラミックス組成物を得た。なお、貫通孔の直径が 1 mm となるように、印刷の制御を行った。

20 第 1 のセラミックス組成物の貫通孔に、スクリーン印刷工法により、第 2 の誘電体ペーストを充填した。第 1 のセラミックス組成物の厚さおよび貫通孔のサイズを考慮して第 2 の誘電体ペーストの充填量を制御することで、最終的に表面が平滑なセラミックス複合体を得た。

次いで、セラミックス複合体の上に、第 1 の誘電体ペーストを印刷、乾燥させて第 1 のセラミックス組成物を得た後、第 1 の誘電体ペーストの印刷パターンの反転パターンで第 2 の誘電体ペーストを印刷した。このように、第 1 の誘電体ペーストの印刷、乾燥、第 2 の誘電体ペーストの印刷、乾燥という工程を、60 回繰り返して、円柱状の第 2 の誘電体セラミックスがハニカムパターンで

配置された誘電体ブロックを得た。

続いて、誘電体ブロックに対して脱バインダ処理を行い、その後、焼成して試料3を得た。なお、試料3のサイズは、 $10.6\text{ mm} \times 4.3\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ である。また、脱バインダ処理の条件および焼成条件は実施例1と同様である。

試料3を導波管内に静置し、実施例1と同様の条件で反射および透過特性を測定した。その結果、Kバンドに属する $20 \sim 24\text{ GHz}$ にて、 $20\text{ dB}$ 以上の減衰が確認され、バンドギャップが生成していることが明らかとなった。

#### 〔実施例4〕

第5図のフローチャートに基づき、フォトニック結晶100を作製した。

誘電体セラミックス粉末として、平均粒径が $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$ 系粉末（比誘電率：95）を準備し、実施例1と同様の条件で誘電体ブロックを得た。得られた誘電体ブロックに対して実験例1と同様の条件で脱バインダ処理および焼成を行い、試料4を得た。なお、試料4のサイズは、 $10.6\text{ mm} \times 4.3\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ である。

試料4を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ（Agilent Technologies社製 HP-8510C）にて反射および透過特性を測定した（Sパラメータを測定した）。その結果、Kバンドに属する $22 \sim 25\text{ GHz}$ にて、 $30\text{ dB}$ 以上の減衰がTE波に対して確認された。

#### 〔実施例5〕

第9図のフローチャートに基づき、フォトニック結晶100を作製した。

誘電体セラミックス粉末として、平均粒径が $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$ 系粉末（比誘電率：95）を準備した。

はじめに、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂、分散媒および分散剤とをらいかい機を用いて混合し、誘電体ペーストを作製した。この際、バインダ樹脂は誘電体セラミックス粉末に対して $3\text{ wt}\%$ 、分散媒は誘電体セラミックス粉末に対して $30\text{ wt}\%$ 、分散剤は誘電体セラミックス粉末に対して $1\text{ wt}\%$ 添加し、粘度が $20000\text{ cP}$ の誘電体ペーストを得た。分散剤、バイン

ダ樹脂および分散媒の種類は以下の通りとした。

- そして、スクリーン印刷工法により、誘電体ペーストを基体となるPETフィルムに印刷し、乾燥させて1層目を構成するセラミックス組成体を得た。得られたセラミックス組成体の上に、誘電体ペーストを重ねて印刷し、乾燥する  
5 という工程を繰り返し、誘電体ブロックを得た。なお、印刷パターンは、第7図に示したハニカム構造のものとし、孔の直径は1mmとした。

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フローレンG-700）

バインダ樹脂：エチルセルロース

- 10 分散媒：ブチルカルビトールおよびターピネオールの混合溶液（50vol% : 50vol%）

ハニカム構造の孔が形成された厚さ100 $\mu$ mのセラミックス組成体をスクリーン印刷で50回積層、つまり重ね印刷して、所定の空隙パターンが形成された誘電体ブロックを得た。

- 15 誘電体ブロックに対して実施例1と同様の条件で脱バインダ処理を行い、その後、実施例1と同様の条件で焼成して試料5を得た。なお、試料5のサイズは、10.6mm $\times$ 4.3mm $\times$ 18.0mmである。

- 試料5を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ（Agilent Technologies社製 HP-8510C）にて反射および透過特性を測定した（Sパラメータを測定した）。その結果、Kバンドに属する22~25GHzにて、25dB以上の減衰  
20 がTE波に対して確認された。

#### 産業上の利用可能性

- 本発明によれば、量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法を提供することが  
25 ができる。また、本発明によれば、小型、高強度かつ高特性のフォトニック結晶を、簡便に製造することができる。さらに本発明によれば、微細なパターンを備えたフォトニック結晶を得ることができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 第 1 の誘電体と当該第 1 の誘電体と異なる比誘電率を有する第 2 の誘電体とが周期的に配置されたフォトニック結晶の製造方法であって、
- 5 前記第 1 の誘電体と前記第 2 の誘電体とが同一面内に周期的に配置された第 1 の複合誘電体を作製し、  
前記第 1 の複合誘電体に、前記第 1 の誘電体と前記第 2 の誘電体とが同一面内に周期的に配置された第 2 の複合誘電体を積層することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。
- 10 2. 前記第 1 の誘電体が誘電体セラミックスであり、前記第 2 の誘電体が空気であることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。
3. 厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成された前記第 1 の複合誘電体
- 15 および前記第 2 の複合誘電体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得ることを特徴とする請求項 2 に記載のフォトニック結晶の製造方法。
4. 前記誘電体ブロックは、前記所定パターンの空隙が表裏面を貫通しており、
- 20 その空隙内に前記第 2 の誘電体としての空気が配置されることを特徴とする請求項 3 に記載のフォトニック結晶の製造方法。
5. 前記第 1 の複合誘電体および前記第 2 の複合誘電体は、シート状部材を穿孔して得られることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。
- 25 6. 前記第 1 の複合誘電体および前記第 2 の複合誘電体は、印刷工法で得られることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

7. 前記第1の複合誘電体および前記第2の複合誘電体の積層は、前記印刷工法を用いて行われることを特徴とする請求項6に記載のフォトニック結晶の製造方法。

5

8. 前記第1の誘電体および前記第2の誘電体はいずれも誘電体セラミックスであることを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶の製造方法。

9. 厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたシート状の前記第1の複合誘電体および前記第2の複合誘電体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得る工程と、

前記空隙内に前記第2の誘電体を配置する工程をさらに備えることを特徴とする請求項8に記載のフォトニック結晶の製造方法。

10 10. 前記第2の誘電体を含む粉末スラリーを前記誘電体ブロックの空隙内に充填することを特徴とする請求項9に記載のフォトニック結晶の製造方法。

11. 前記粉末スラリーの充填は吸引または加圧により行われることを特徴とする請求項10に記載のフォトニック結晶の製造方法。

20

12. 前記誘電体ブロックは、前記所定パターンの空隙が表裏面を貫通していることを特徴とする請求項9に記載のフォトニック結晶の製造方法。

13. 前記誘電体ブロックの前記空隙内に、前記第2の誘電体を含む粉末スラリーを充填した後、前記第1の誘電体と前記第2の誘電体を同時焼成することを特徴とする請求項10に記載のフォトニック結晶の製造方法。

25

14. 前記第1の複合誘電体および前記第2の複合誘電体の厚さは1～800

$\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 9 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

15. 前記第 1 の複合誘電体および前記第 2 の複合誘電体はセラミックス複合体であり、当該セラミックス複合体は、

- 5 前記第 1 の誘電体に対応する部位に前記第 1 の誘電体を構成する第 1 のセラミックス組成物を配設し、

前記第 2 の誘電体に対応する部位に前記第 2 の誘電体を構成する第 2 のセラミックス組成物を配設することにより作製されることを特徴とする請求項 8 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

10

16. 前記第 1 のセラミックス組成物を配設した後に、前記第 2 のセラミックス組成物を配設することにより得られた複数の前記セラミックス複合体を積層することを特徴とする請求項 15 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

- 15 17. 前記第 1 のセラミックス組成物を配設した後に、前記第 2 のセラミックス組成物を配設することにより前記セラミックス複合体を作製し、

当該セラミックス複合体上に、前記第 1 のセラミックス組成物および前記第 2 のセラミックス組成物のいずれか一方を配設した後に前記第 1 のセラミックス組成物および前記第 2 のセラミックス組成物の他方を配設することを繰り返

- 20 すことにより前記セラミックス複合体が積層されることを特徴とする請求項 15 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

18. 前記セラミックス複合体の積層体を焼成する工程をさらに備えることを特徴とする請求項 16 または 17 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

25

19. 前記フォトニック結晶は、2次元周期構造を有することを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。



20. ブロック状の第1の誘電体と、当該第1の誘電体と異なる比誘電率を有する円柱状の第2の誘電体とが所定の周期で配置されるフォトニック結晶であって、

5 前記第1の誘電体および前記第2の誘電体はいずれも誘電体セラミックスから構成され、

前記第2の誘電体は直径2 mm以下の複数の円柱状部材から構成されており、前記第2の誘電体は前記第1の誘電体の表裏面を貫通するように所定間隔毎に配置されていることを特徴とするフォトニック結晶。

10 21. 第1の誘電体と、

前記第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とを備え、

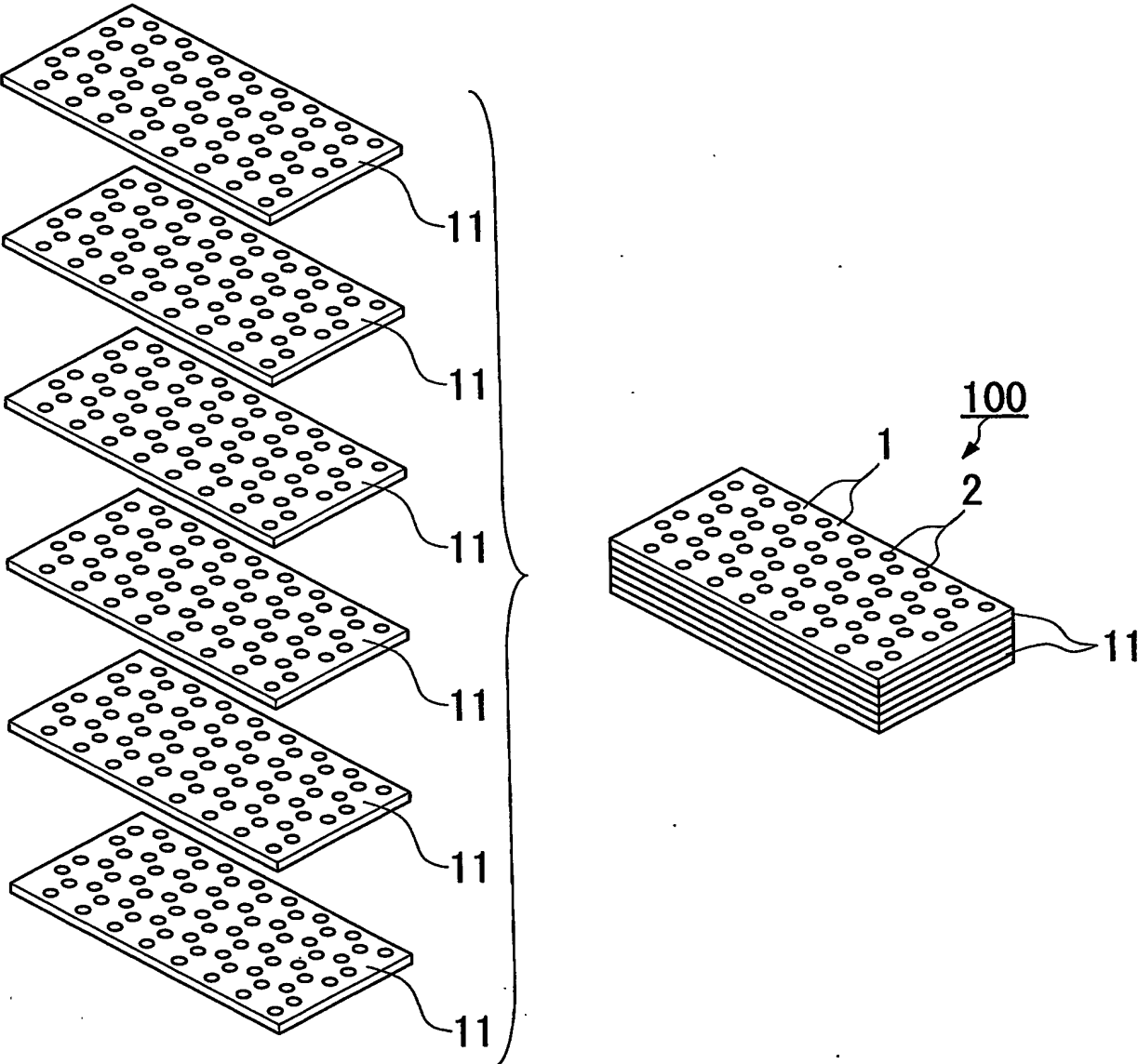
前記第1の誘電体と前記第2の誘電体とが所定の周期で配置されるフォトニック結晶であって、

15 直径2 mm以下の空隙が所定パターンに形成された誘電体セラミックスからなる誘電体ブロックが前記第1の誘電体を構成し、

前記空隙内に存在する空気が前記第2の誘電体を構成することを特徴とするフォトニック結晶。

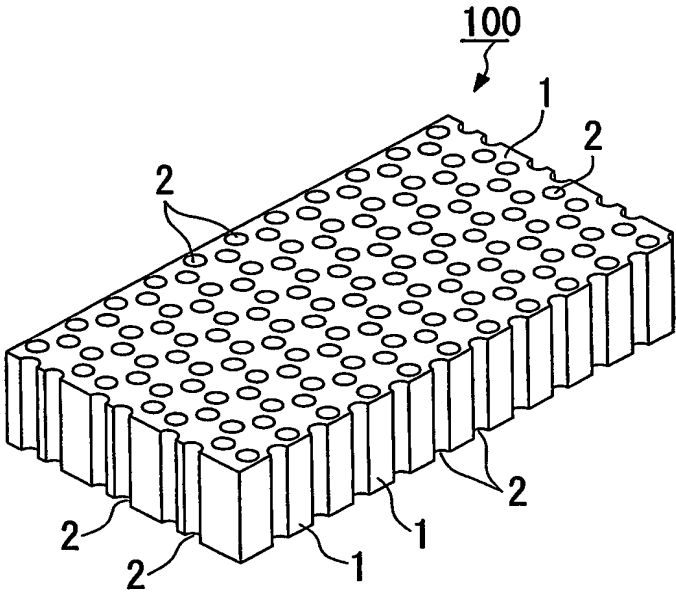
22. 前記フォトニック結晶は2次元周期構造を有することを特徴とする請求  
20 項20または21に記載のフォトニック結晶。

第1図



2/21

第2図



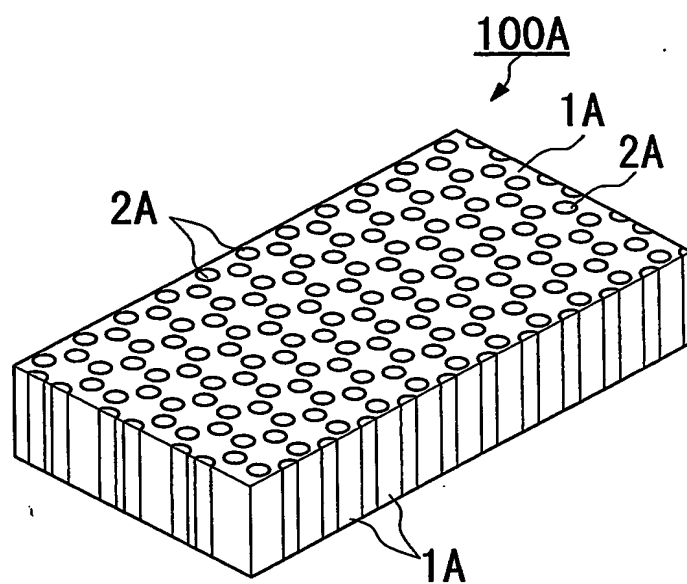
3/21

## 第3図

誘電体セラミックス	比誘電率	Q・f (GHz)	$\tau_f$ (ppm/°C)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9.8	300000	-55
$\text{TiO}_2$	104	45000	450
$\text{MgTiO}_3$	17	110000	-45
$\text{CaTiO}_3$	170	3600	800
$\text{SrTiO}_3$	255	1400	1670
$\text{CaZrO}_3$	28	1400	-20
$\text{BaZrO}_3$	40	1400	150
$\text{MgTiO}_3\text{-CaTiO}_3$	21	45000	0
$(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$	38	49000	0
$\text{BaTi}_4\text{O}_9$	38	36000	15
$\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$	40	36000	5
$\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$	44	1200	-85
$\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$	37	3300	-118
$\text{BaO-TiO}_2\text{-希土類}$	80-90	数 1000	0
$\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_3$	32	55000	33
$\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})_3$	25	350000	-4
$\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_3$	41	87000	31
$\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})_3$	30	165000	0
$\text{CaTO}_3\text{-NdAlO}_3$	43	47000	0-6
$(\text{Ba}, \text{Pb})\text{Nd}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$	92	5000	0-6
$(\text{Ba}, \text{Pb})(\text{Nd}, \text{Bi})_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$	110	2500	0-6

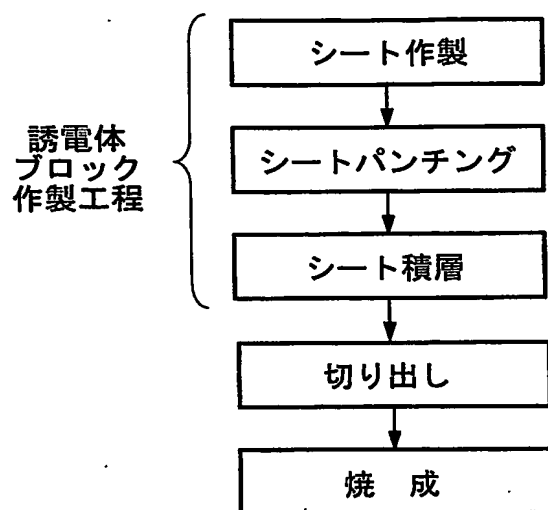
4/21

第4図



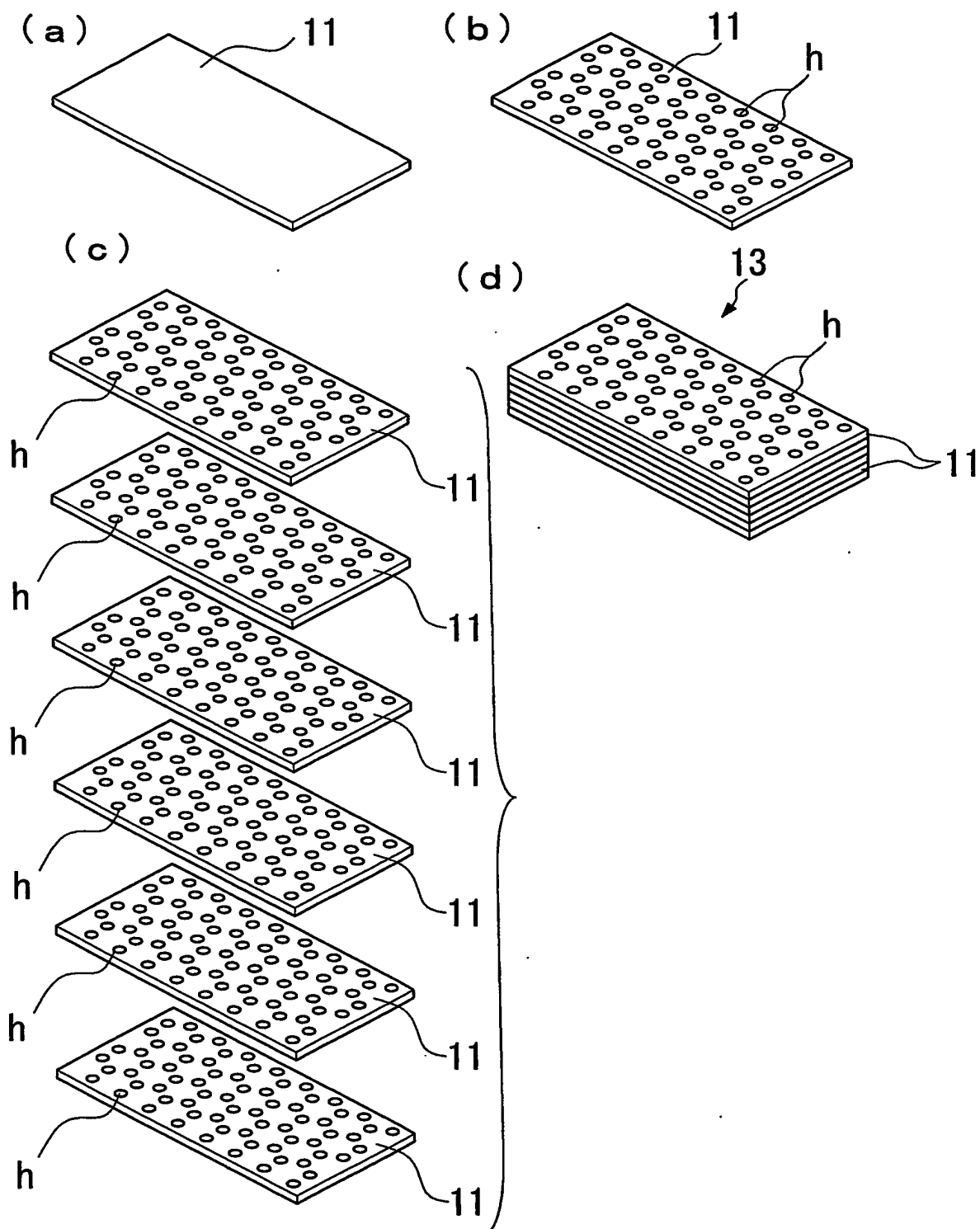
5/21

## 第5図



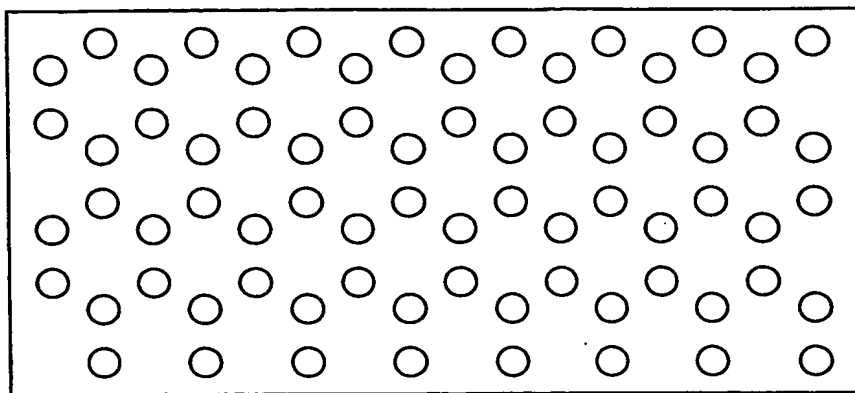
6/21

第6図



7/21

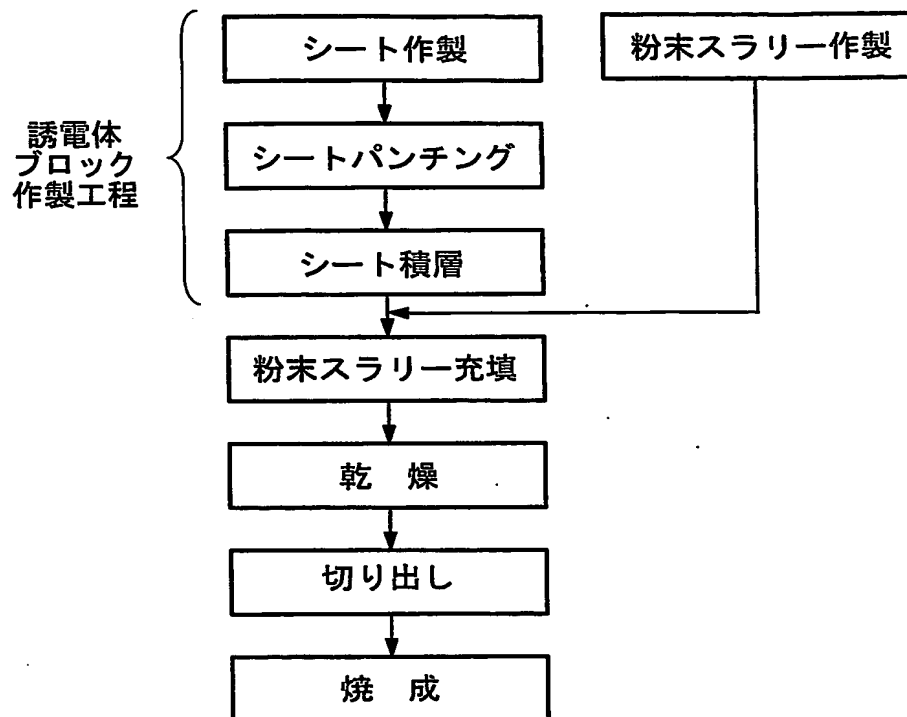
第7図





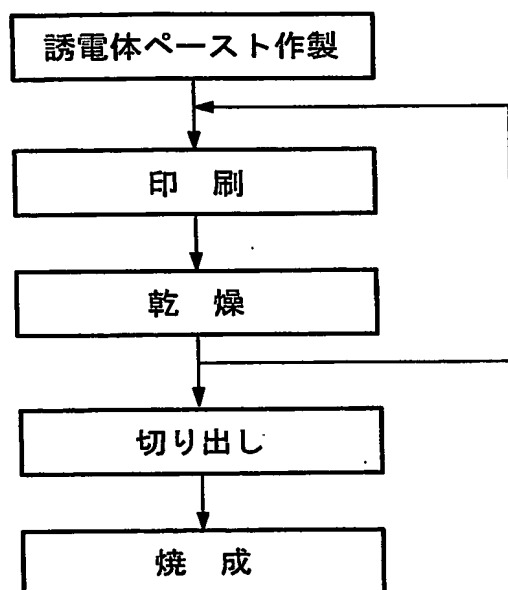
8/21

## 第8図



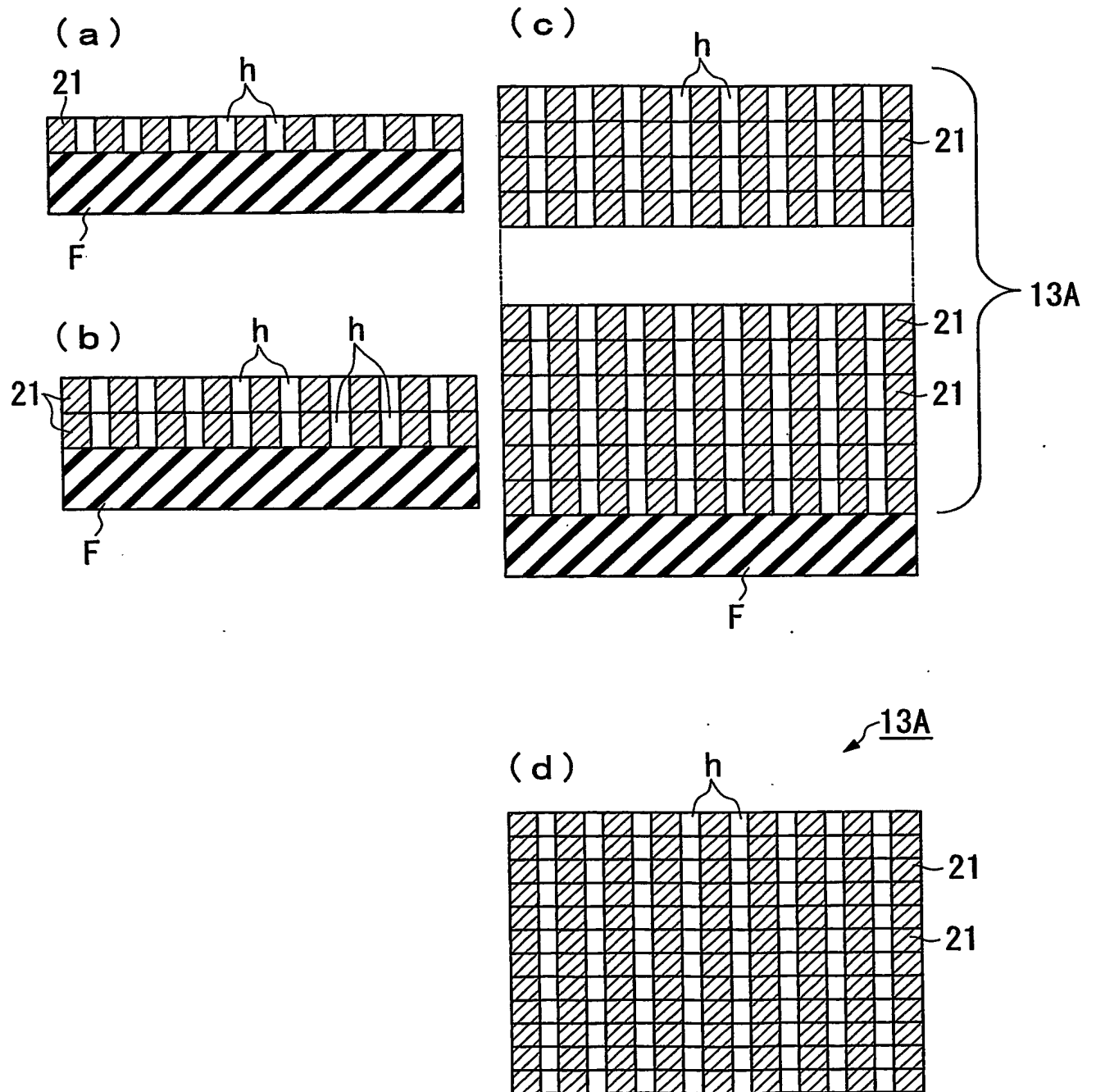
9/21

# 第9図



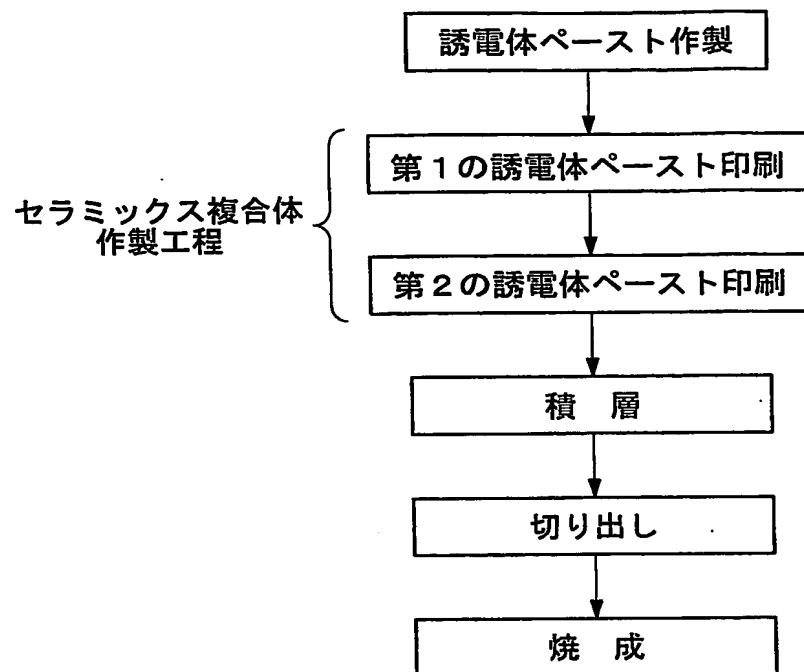
10/21

第10図



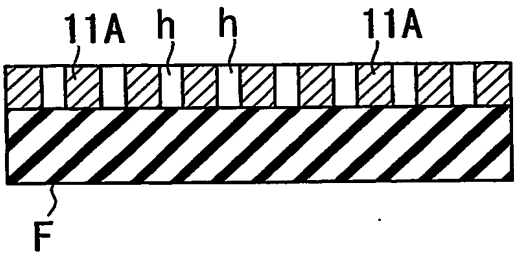
11/21

## 第11図

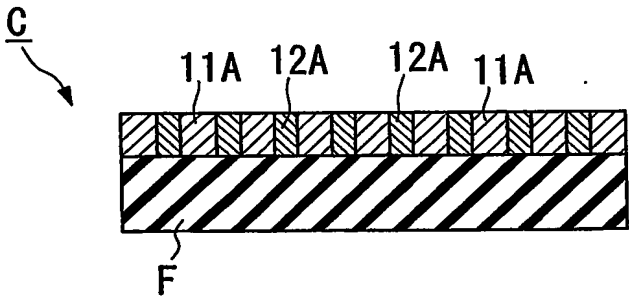


第12図

(a)

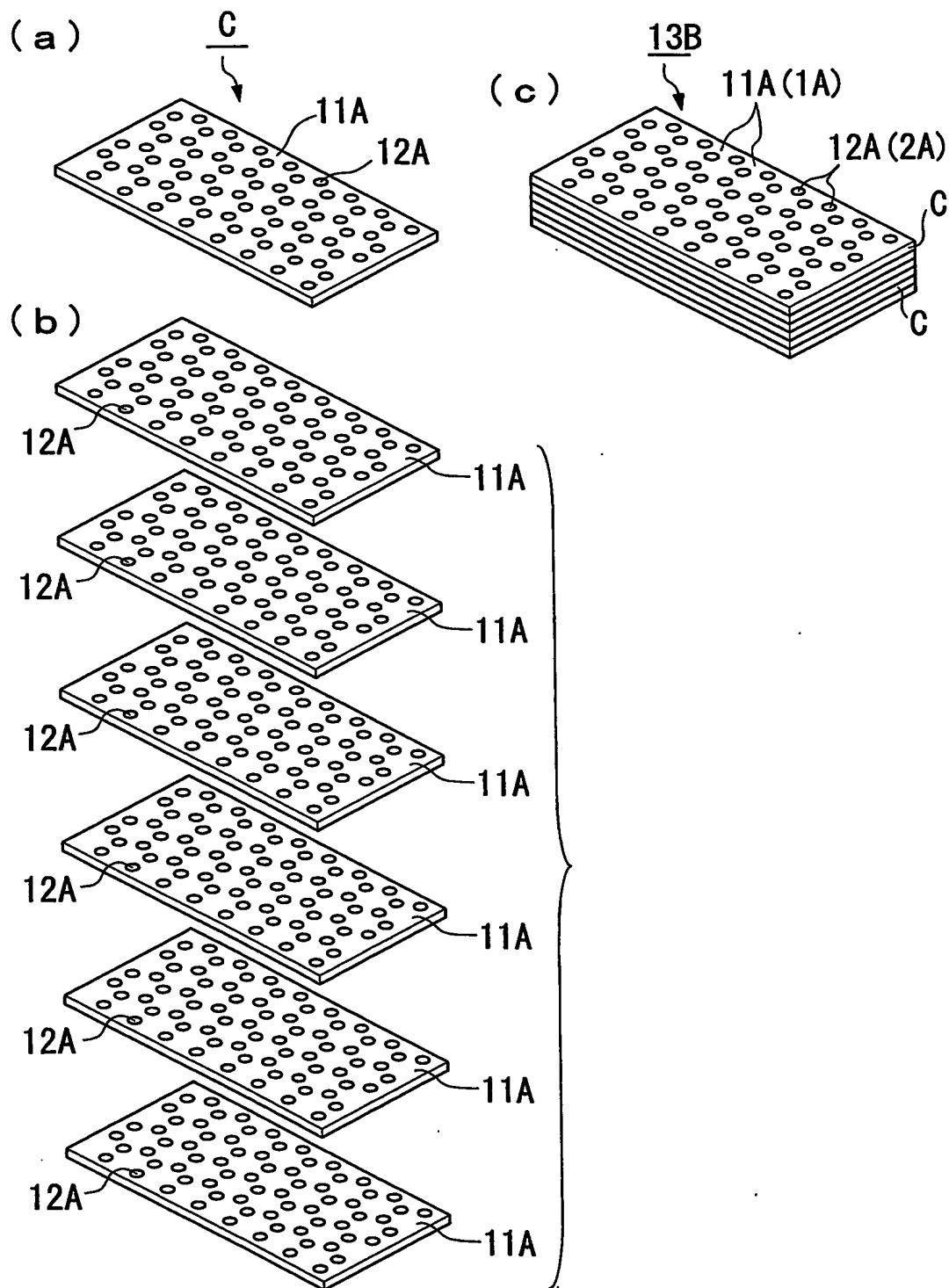


(b)



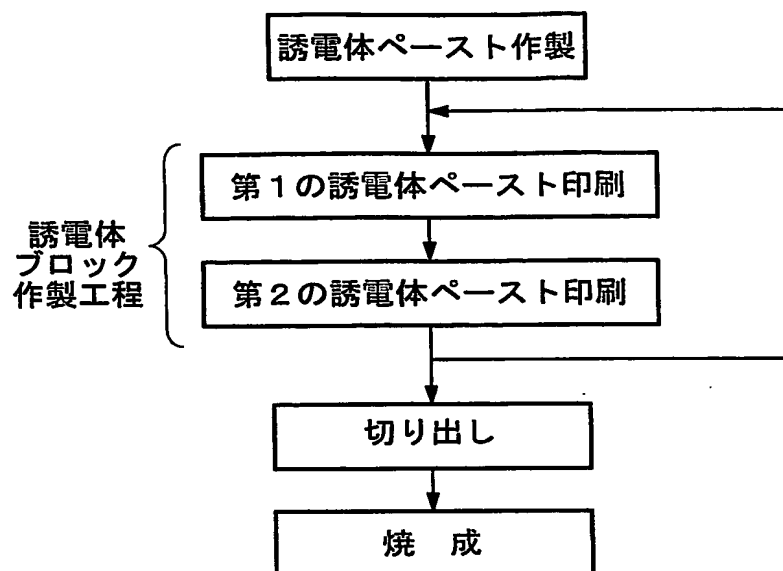
13/21

## 第13図



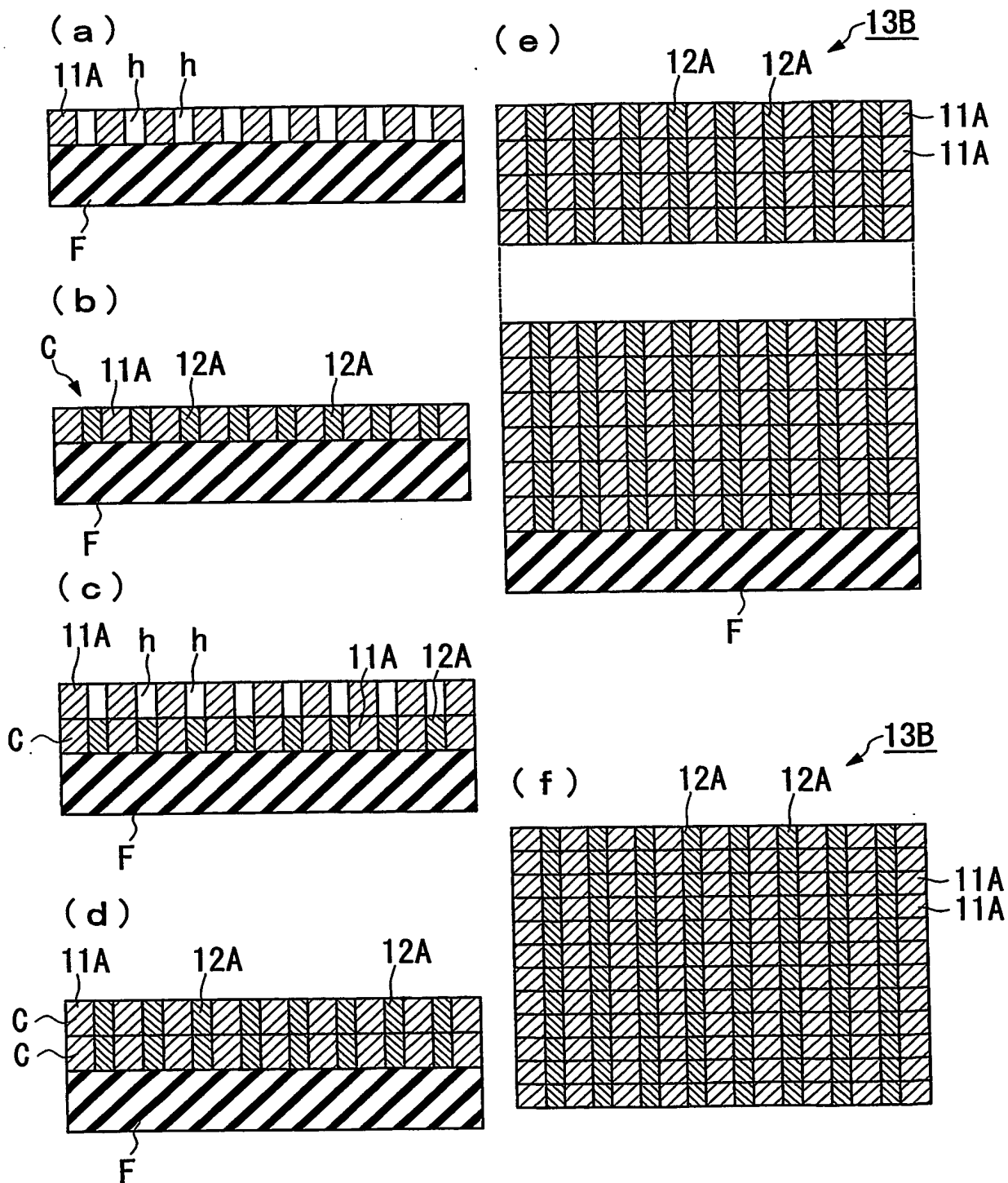
14/21

## 第14図



15/21

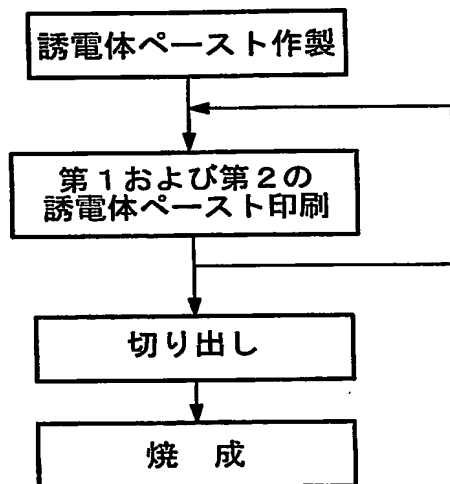
## 第15図





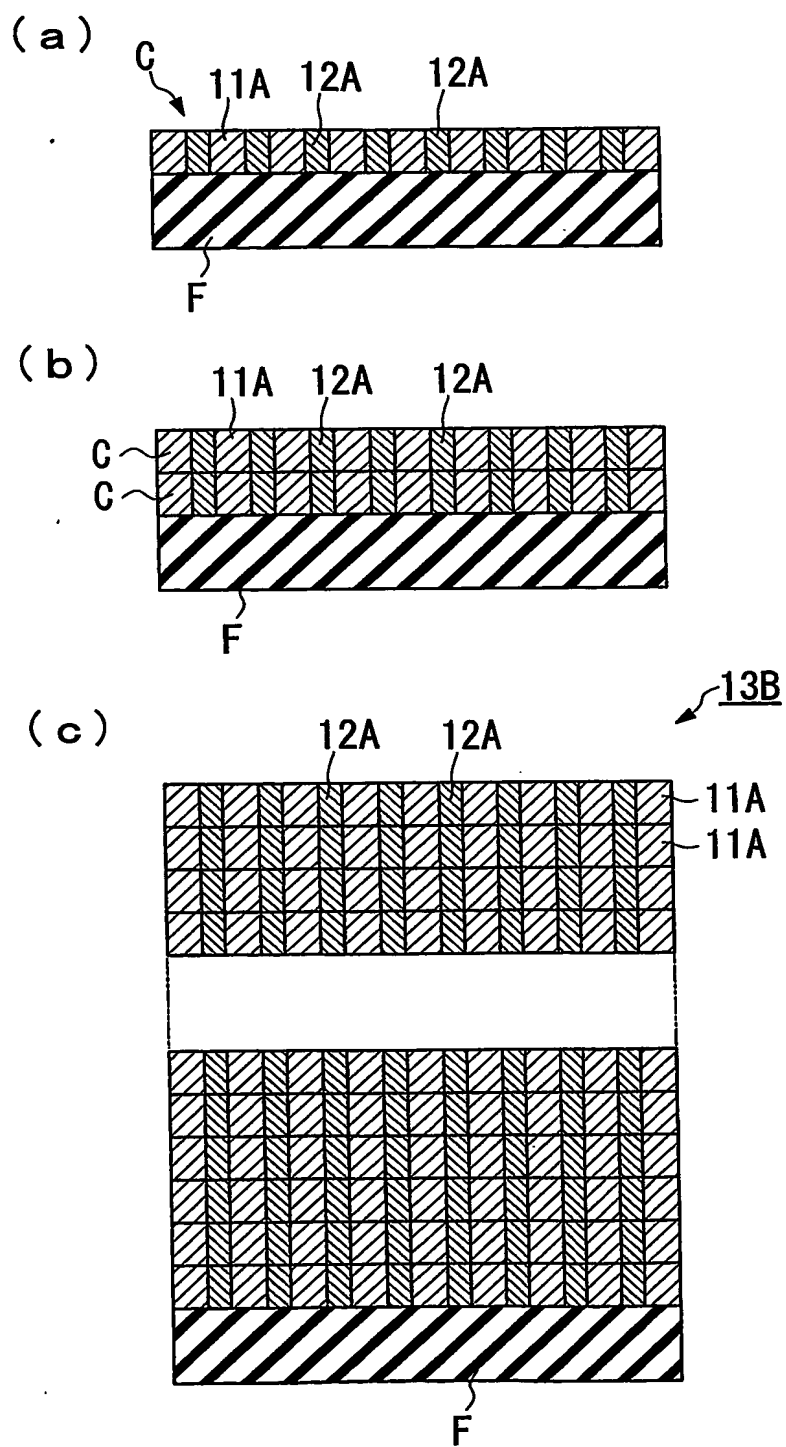
16/21

第16図

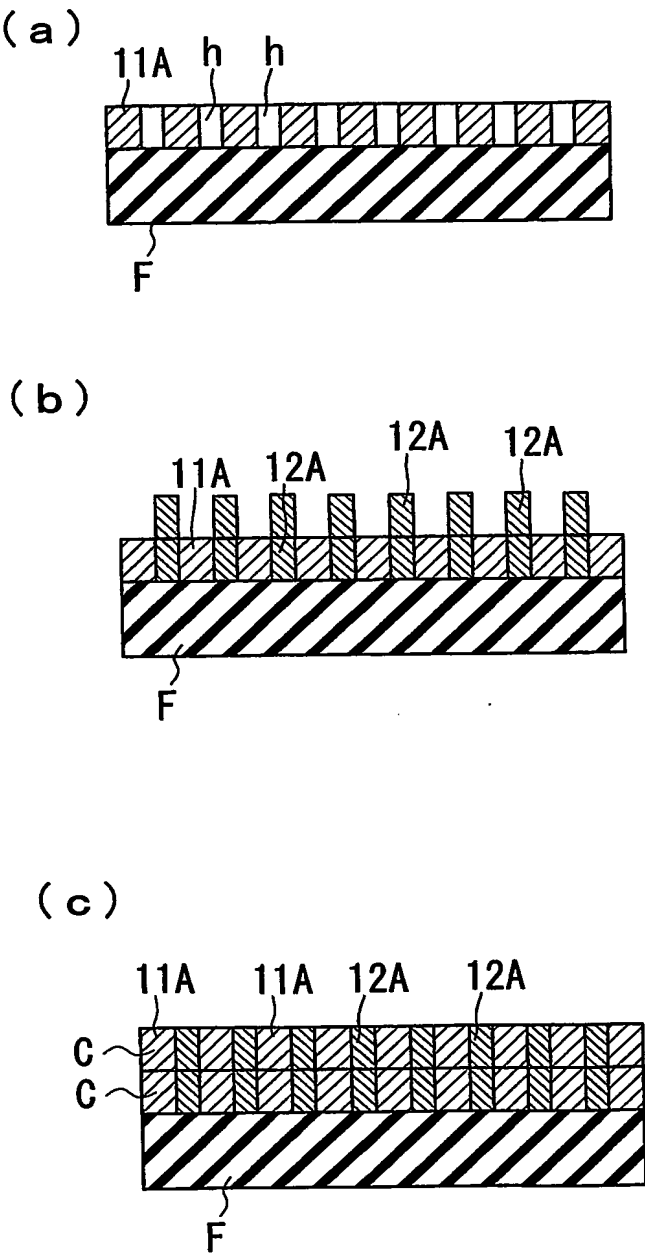


17/21

## 第17図

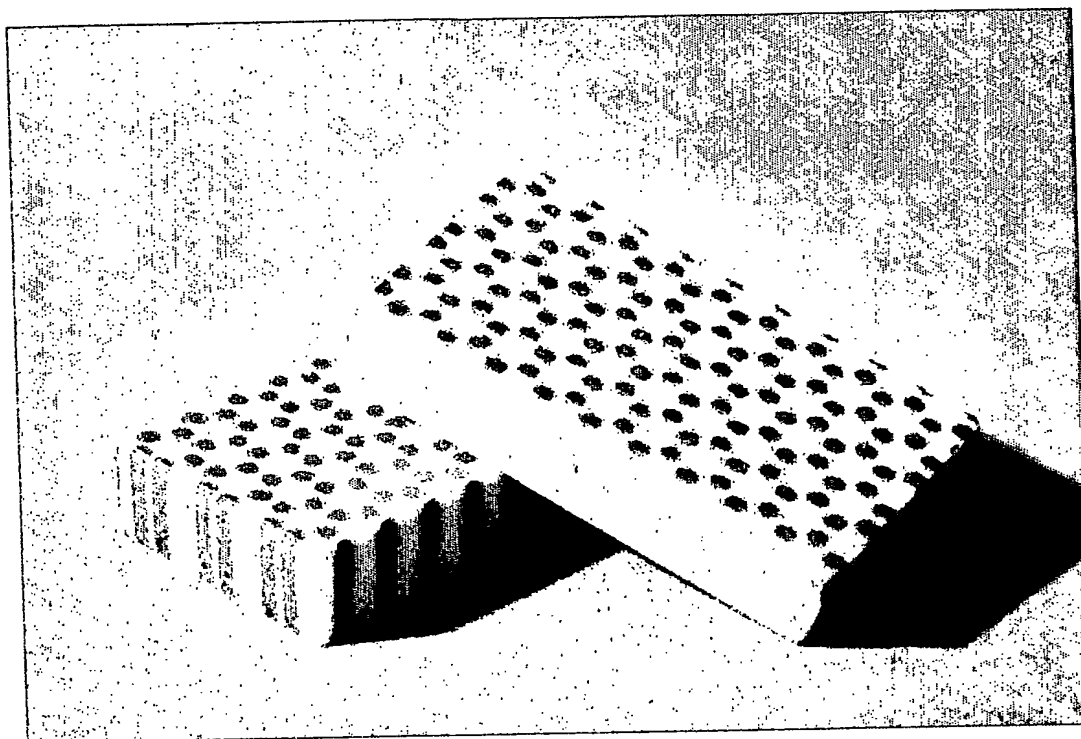


第18図



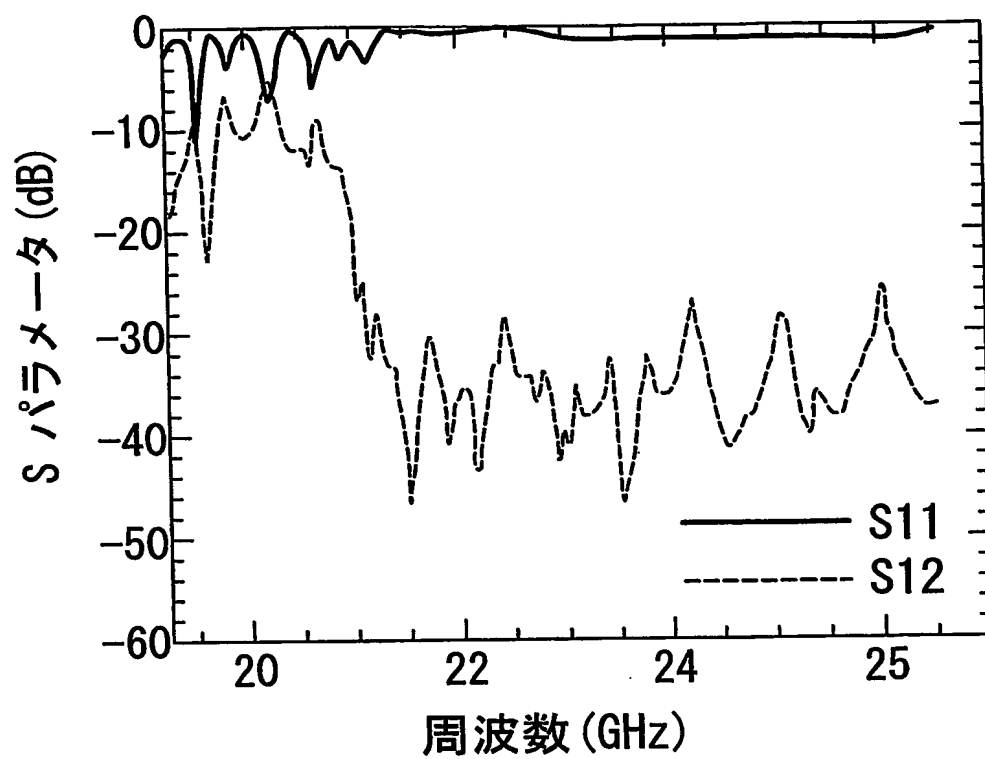
19/21

第19図



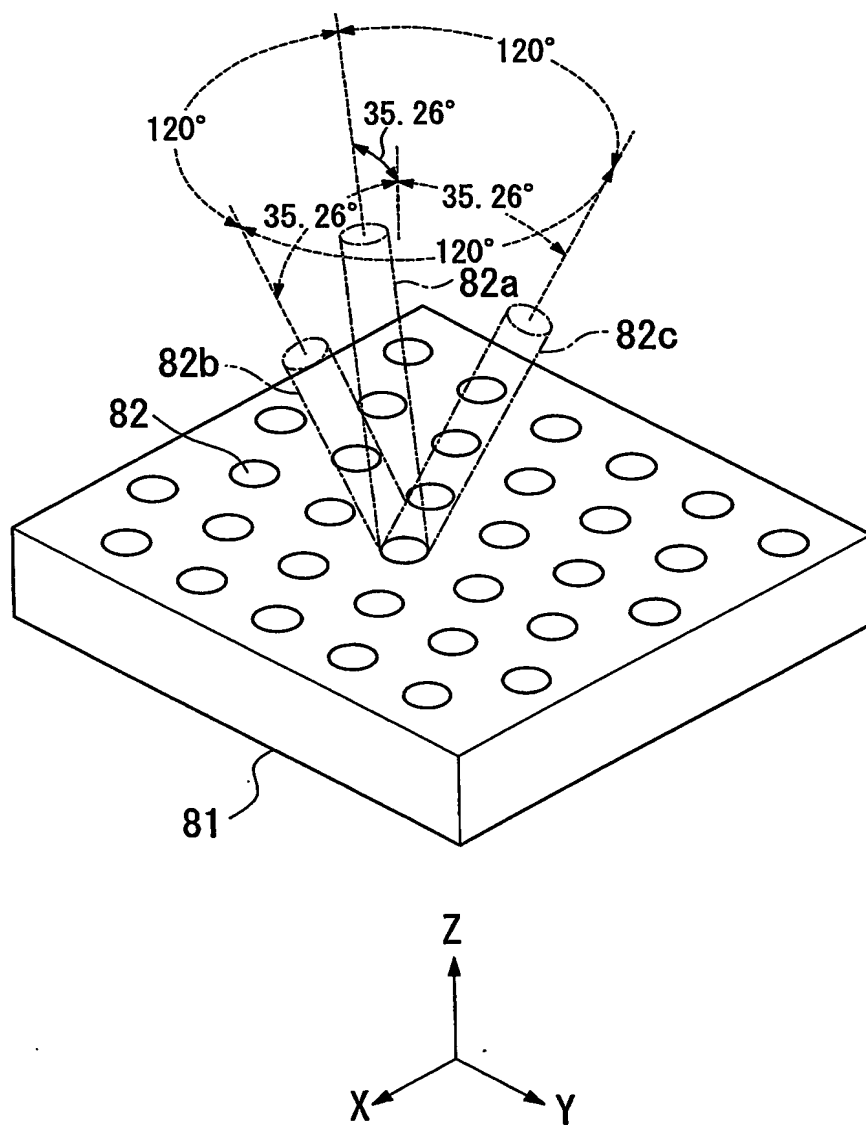
20/21

第20図



21/21

第21図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008693

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02B1/02.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02B1/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-083347 A (Toshiba Corp.), 30 March, 2001 (30.03.01), Par. Nos. [0002], [0017], [0021] to [0022], [0030], [0039] to [0041] & EP 1085352 A2 & US 6465742 A	1-22.
Y	JP 06-151999 A (FDK Corp., et al.), 31 May, 1994 (31.05.94), Par. Nos. [0002], [0013] to [0018]; Figs. 2 to 5 (Family: none)	1-22

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 July, 2004 (02.07.04)

Date of mailing of the international search report

20 July, 2004 (20.07.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> G02B 1/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> G02B 1/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-083347 A (株式会社東芝) 2001. 03. 30 【0002】、【0017】、【0021】～【0022】、 【0030】、【0039】～【0041】 & EP 1085352 A2 & US 6465742 A	1-22
Y	JP 06-151999 A (富士電気化学株式会社、外1名) 1994. 05. 31 【0002】、【0013】～【0018】、図2～図5 (ファミリーなし)	1-22

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 07. 2004

国際調査報告の発送日

20. 7. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉野 公夫

2V

8106

電話番号 03-3581-1101 内線 3229